طاقة الأرض الحرارية

دكتور
علي عبد العظيم تعيلب
أستاذ الجيوفيزقا بالمعهد القومي للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية
ورئيس المعهد (سابقا)
حائز على جائزة الدولة التقديرية فى العلوم الأساسية

دكتور
حافظ شمس الدين عبدالوهاب
أستاذ الجيولوجيا بكلية العلوم جامعة عين شمس
عضو المجمع العلمي المصري وعضو مجمع اللغة العربية
خبير التنوع الثقافي بمنظمة الأمم المتحدة للتربية والعلوم والثقافة
زميل جامعة بنسلفانيا بأمريكا




دار الفكر العربي
شركة مساهمة مصرية
للطباعة والنشر والتوزيع

طاقة الأرض الحرارية

الدكتور

على عبد العظيم تعيلب

أستاذ الجيوفيزيقا

بالمعهد القومى للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية

ورئيس المعهد الأسبق

حائز على جائزة الدولة التقديرية فى العلوم الأساسية

الدكتور

حافظ شمس الدين عبد الوهاب

أستاذ الجيولوجيا

بكلية العلوم - جامعة عين شمس

عضو المجمع العلمى المصرى وعضو مجمع اللغة العربية

خبير بمنظمة الأمم المتحدة للتربية والعلوم والثقافة

الطبعة الأولى

١٤٣٤هـ/ ٢٠١٣م

ملتزم الطبع والنشر

دار الفكر العربى

٩٤ شارع عباس العقاد - مدينة نصر - القاهرة

ت: ٢٢٧٥٢٧٩٤ - ٢٢٧٥٢٧٣٥ - فاكس: ٢٢٧٥٢٧٣٥

٦ أ شارع جواد حسنى - ت: ٢٣٩٣٠١٦٧

www.darelfikrelarabi.com

info@darelfikrelarabi.com

٥٥١,١٢ علي عبدالعظيم تعيلب.

ع ل ط ا طاقة الأرض الحرارية/ علي عبدالعظيم تعيلب، حافظ شمس الدين عبدالوهاب.- القاهرة: دار الفكر العربي، ١٤٣٤ هـ = ٢٠١٣م

١٣٢ ص: إيض؛ ٢٤سم.

ببليوجرافية: ص ١٣٠ - ١٣٢ .

يشتمل على ثبت بالمصطلحات المستخدمة في الكتاب.

يشتمل على كشافات.

تدمك: ٩ - ٢٨٤٩ -١٠- ٩٧٧ - ٩٧٨ .

١- الجيولوجيا. ٢- فيزياء الأرض. ٣- حرارة الأرض.

أ- حافظ شمس الدين عبدالوهاب، مؤلف مشارك. ب- العنوان.

جمع إلكتروني وطباعة





شكر وتقدير

يطيب لنا أن نقدم هذا الكتاب باللغة العربية حتى يكون إضافة للمكتبة العربية فى أحد فروع العلوم المتخصصة.

ونتقدم بخالص الشكر والتقدير للسيد الأستاذ الدكتور على على حبيش - الأستاذ بالمركز القومى للبحوث، ونقيب العلميين، ورئيس أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا الأسبق لتفضله بالتقديم لهذا الكتاب.

كما نتقدم بخالص الشكر والعرفان للزملاء بقسم ديناميكية الأرض وإدارة الرسم والخرائط وسكرتارية قسم ديناميكية الأرض بالمعهد القومى للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية بحلوان لما بذلوه من معاونة فى إعداد الخرائط والأشكال، جزاهم الله كل خير على ما بذلوه من جهد.

على عبد العظيم تعيلب　　　　حافظ شمس الدين عبد الوهاب

تقديم

التعريب اللغوى هو المنطلق الحقيقى لتعريب الفكر، ونحن نراه خطوة أساسية فى هذا السبيل، بالإضافة إلى أنه أصبح ضرورة قومية وعلمية، لصالح العرب واللغة العربية. فليس من المقبول شكلًا وموضوعًا أن يظل العلم، أو بعض فروعه، أسيرًا للغات الأجنبية تفكيرًا وتناولًا وتحصيلًا حتى هذا الوقت، كذلك فإن إيثار اللغات الأجنبية على لغتنا العربية الشريفة، فيه إضعاف لمنزلتها فى نفوسنا، وتقليل لشأنها للناطقين بها. وأرى أن ذلك قد يؤدى فى النهاية إلى خلق جو علمى مضطرب، لا هو إلى جذورنا العربية ينتمى، ولا إلى لغة أجنبية تعلمناها ينتسب، إنما هو جو مسخ مشوه السمات مضطرب الصفات، وبالتأكيد سيكون هذا بداية الانهيار الفكرى القومى الذى ينذر بمحو روح الانتماء، التى تعد اللغة قطبها الذى تتجسد فيه كل القيم والمثل وأنماط السلوك الفارقة بين قوم وقوم.

كذلك فإن توظيف لغتنا العربية الشريفة فى العلوم، وبخاصة فى المجالات الحديثة والمستحدثة، مثل هذا السفر الذى يختص بفرع جديد عن الطاقة الحرارية للأرض، التى نحن فى أشد الحاجة إليها، سوف ييسر للباحث والقارئ والطالب العملية العلمية والتعليمية، ويساعد على سرعة الفهم والتحصيل والإنتاج. والقول بأن العلوم الحديثة ومصطلحاتها تعوزها أدوات التعبير بالعربية الفصيحة الصحيحة، قول يحمل فى طياته زورًا وبطلانًا وبهتانًا. وإذا كان الطالب ضعيفًا فى لغته الأم، فهو فى اللغة الأجنبية أضعف، ومنطق الأشياء يقرر أن الإنسان مهما جادت حصيلته من اللغة الأجنبية، فلن يقوى على التعامل بها أو توظيفها بالقدر الذى يمنحه لسان أمه، الذى استقر فى عقله ووجدانه ولازمه منذ نعومة أظفاره.

والثابت فى كتب تاريخ الطب فى مصر، أن "كلوت بك "ناظر مدرسة الطب المصرية فى عهودها الأولى، كان حريصًا على ترجمة المواد الطبية من الفرنسية إلى العربية، وفاء بهذا المعنى نفسه، ويقول فى ذلك "إن التعليم بلغة أجنبية لا تحصل منه الفائدة المنشودة، كما لا ينتج عنه توطين العلم أو تعميم نفعه. إن منح اللغة العربية رخصة التفاعل فى البيئات العلمية يزيد من ثروتها، وينمى محصولها، كما يساعد الدارسين على التفكير بها الأمر الذى

يؤدى إلى إلفها والتعامل بها، وبذلك ينزاح عنها توهم ضعفها واتهامها بالعجز عن ملاحقة العلوم وما يجد فيها من تطور".

وفى الوقت نفسه، يجب الاهتمام بتعليم لغة أجنبية أو أكثر، كى يستطيع الدارس أو الباحث الاطلاع بها على إنجازات العلم الخارجى، لأن تعلم اللغات الأجنبية يعد نافذة مضيئة تجلب الضوء الذى نستطيع من خلاله الاطلاع على بحوث وإنجازات واختراعات واكتشافات دول المعرفة المتقدمة، حتى نتواصل معها ونأخذ عنها، دون أن نغفل الاهتمام باللغة العربية تأليفًا وتعريبًا وترجمة وتطويرًا، لأن اللغة العربية هى لغة اللسان والوطن والعقيدة والانتماء، فهناك فرق بين التعلم بلغة أجنبية وتعلم لغة أجنبية.

إن تأليف مثل هذا الكتاب القيم باللغة العربية، يعد من الوجهة العلمية، بمثابة المرآة الكاشفة عن الشخصية العربية، وهو دليل على أهليتنا لاكتساب موقع يحمى حقيقتنا ويمكننا من الانطلاق نحو عالم أوسع وأرحب من الفعالية والمشاركة الإيجابية. وهذا الكتاب - بحق - ييسر سبل التحصيل والاستيعاب والهضم للدارسين، وينشط محصولهم اللغوى الذى - بدوره - يعمل على تنشيط الفكر وتعميقه، بحيث يخرج لنا زادًا عربيًّا أصيلًا، نشارك به فى المسيرة العلمية فى العالم. وليس من اللائق علميًّا أن ندور فى فلك الآخرين، بالاعتماد على لغاتهم والتفكير بها، وهو تفكير لا جذور له ولا عمق فيه، لأنه موظف فى الأساس فى التقليد أو مجرد النقل عنهم.

من الجلى - إذن.. أن عالمنا المعاصر يشهد نضوب المصادر الرئيسة للطاقة وفى مقدمتها طاقة الوقود الحفرى فى صوره السائلة والغازية والصلبة.. وهو الأمر الذى دفع العالمان الجليلان الأستاذ الدكتور على عبد العظيم تعيلب والأستاذ الدكتور حافظ شمس الدين عبد الوهاب إلى الكتابة عن طاقة الأرض الحرارية كمصدر جديد للطاقة. وهو بكل المقاييس أشدها قوة وأكثرها تجددًا، فى الوقت الذى تعرفه القلة القليلة جدًّا من الناس ويجهله الأكثر منهم، باعتباره تخصصًا دقيقًا وصعبًا بالرغم من أهميته القصوى فى هذا الزمان.

نحن الآن أمام مؤلف علمى تكنولوجى ثقافى يخاطب بكل الدقة والمهارة طاقة الأرض الحرارية، وفق رؤية ثاقبة للعالمين الجليلين اللذين تفوقا على نفسيهما علمًا وتخصصًا

وخبرة ولغة ليقدما لناطقى العربية ملحمة علمية ثقافية غير مسبوقة يجد فيها القارئ نفسه أمام كنز من المعرفة والعلم فى ممارسة خلاقة له تجذب غير المتخصص قبل المتخصص للخوض فى عناصر ومكونات طبيعة وتطور الأرض بدءا من نشأتها إلى صورتها الحالية، والظواهر الطبيعية الناتجة عن حرارة الأرض، وطبيعة مصادر الحرارة الأرضية ومستقبل مصادرها والنظام المتكامل لاستغلالها.

والمتصفحون لهذا المؤلَّف العظيم بعين الفاحص الأمين والراصد لمعلوماته بمنظور خبير قادر على وضعها فى قالب تطبيقى متميز، والناقد لمحتوياته بنظرة المثقف الشريف، سيجد نفسه، وهو يتوجه إلى صاحبى هذا العمل النافع وأنا أشاركه هذا التوجه.. نقول لهما.. للدكتور على عبد العظيم تعيلب والدكتور حافظ شمس الدين عبد الوهاب.. أنتما من عباد الله المخلصين الذين خصهم الله سبحانه وتعالى برجاحة العقل، وسمو الفكر، وعمق الإدراك، ووضوح الرؤية، ونكران الذات.. ولمعرفتى الشخصية بكما، فأنتما بهذا العمل قد خدمتم مجتمعكم العربى.. فى الوقت الذى نشعر فيه بتفانيكم فى عمل الخير وعطائكم المتواصل.

اسأل الله عز وجل أن يسدد على طريق الخير والنور خطاكم وأن يجعلكم دائما وأبدا مصدرًا لبناء وتقدم مصر الحبيبة فى رحاب ثورة ٢٥ يناير العظيمة.

وآخر دعوانا أن الحمد لله رب العالمين

أ.د. على على حبيش
أستاذ بالمركز القومى للبحوث
عضو مجمع اللغة العربية والمجمع العلمى المصرى
نقيب العلميين السابق
ورئيس أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا الأسبق

مقدمة

اعتمدت البشرية فى تطورها خلال القرنين الماضيين على مصادر الطاقة المستخرجة من باطن الأرض فى صورة وقود حفرى سائل (البترول) أو غازى (الغاز الطبيعى) أو الصلب (الفحم). وقد أدى الاستخدام المفرط لهذه المصادر إلى اقتراب البشرية من كارثتين مؤثرتين فى تقدمها، الأولى منها هى المؤشرات التى تنبئ بقرب نضوب مصادر هذه الطاقة، والثانية هى التلوث البيئى الذى صاحب استغلال البشرية لها. لذا فإنه قد أصبح لزامًا على البشرية فى وقتنا الحاضر البحث عن مصادر جديدة للطاقة بدلا من الطاقة الآيلة للنفاد، وأن تكون طاقة نظيفة غير ملوثة للبيئة. وقد وجدت البشرية ضالتها فى عدد من صور الطاقة النظيفة، مثل طاقة الأرض الحرارية وطاقة الرياح والطاقة الشمسية والوقود الحيوى المستخلص من النباتات وبذورها.

وطاقة الأرض الحرارية هى الحرارة المخزونة فى داخل الأرض التى تمثل قدرًا هائلًا من الطاقة يفوق آلاف المرات طاقة الوقود الحفرى الموجودة فى داخل الأرض، سواء ما تـم استغلاله منها حتى الآن وما هو قيد الاستغلال. وعلى الرغم من أن استخدام البشرية لطاقة الأرض الحرارية يعد قليلًا حتى الآن، حيث إنه محدود بمناطق جيولوجية تسمح بوجود وسيط مثل المياه لنقل هذه الحرارة من المناطق العميقة داخل الأرض إلى القرب من سطح الأرض، إلا أن الأمل معقود فى ابتكار تقنيات جديدة لاستغلال هذه الطاقة والمزيد من الإفادة منها فى المستقبل القريب.

وتعد حرارة الأرض من الظواهر الطبيعية المرتبطة بطبيعة الأرض. والظواهر الطبيعية التى تشاهد فى كوكب الأرض كانت ولا تزال تثير نظر العلماء على مر العصور، وبخاصة العلماء الذين يهتمون بدراسة الأرض سواء غلافها الصخرى أو المائى أو الجوى. وكانت الظواهر الطبيعية الأخرى مثل الزلازل والبراكين والمثالج والينابيع الحارة المنطلقة

من باطن الأرض، وبخاصة فى الأماكن القريبة من البراكين، سواء أكانت براكين نشيطة أم خامدة، بداية الطريق لمزيد من الدراسة عن هذه الحرارة الآمنة من باطن الأرض. ويعتبر وجود البراكين والينابيع الحارة والنافورات الحارة والفوارات وبرك الطين الحار من المظاهر التى تدل على السخونة العالية لباطن الأرض، خاصة وشاح الأرض الذى تنتقل الحرارة إليه من لب الأرض الأكثر سخونة، بالإضافة إلى الحرارة التى تتولد فيه نتيجة اضمحلال العناصر المشعة الموجودة فى صخور الأرض.

تتكون كلمة حرارة الأرض Geotherm من مقطعين: الأول منهما هى "Geo "وهى كلمة إغريقية تعنى الأرض"earth "والثانى "therm "ويعنى حرارة "heat". لذا فإن كلمة Geotherm تعنى حرارة الأرض، والحرارة هى صورة من صور الطاقة، وطاقة الأرض الحرارية geothermal energy هى الحرارة المخزونة فى داخل الأرض التى تنشأ عنها ظواهر جيولوجية فى مناطق كثيرة من الكرة الأرضية. وطاقة الأرض الحرارية مصطلح يستخدم أيضًا للدلالة على جزء من حرارة الأرض التى تستفيد منها البشرية وتستثمرها، وهى طاقة هائلة. وتضم الكيلومترات الأولى من قشرة الأرض طاقة حرارية تبلغ حوالى خمسين ألف مرة أكثر من طاقة الوقود الحفرى السائل (البترول) والغازى (الغاز الطبيعى) والصلب (الفحم) الموجودة فى داخل الأرض. وبعد أن استخدام البشرية لطاقة الأرض الحرارية محدودًا حتى الآن، لأنه مرتبط بمناطق جيولوجية ذات صفات معينة.

والبراكين والينابيع الحارة والنافورات الحارة والفوارات تدل على وجود مصادر لحرارة باطن الأرض، لكن لا يمكننا تعرف معظم مصادر حرارة الأرض التى توجد عند أعماق متباينة تحت سطح الأرض لعدم وجود شواهد عنها على سطح الأرض. ومن دراسة الحرارة فى المناجم المحفورة إلى أعماق تصل إلى مئات الأمتار تحت سطح الأرض، استنتج العلماء فى القرنين السادس عشر والسابع عشر الميلاديين، أن حرارة الأرض تزداد بازدياد العمق. وفى عام ١٨٧٠م استخدمت طرق القياسات العلمية الحديثة لدراسة النظام الحرارى للأرض. ولم يكتشف الدور الذى تلعبه الحرارة الناتجة عن النشاط الإشعاعى فى

توازن الحرارة الأرضية آنذاك. وقد أخذت كل النماذج الحديثة لحرارة الأرض نمط الحرارة الموجودة فى باطن الأرض والحرارة المتولدة عن النشاط الإشعاعى فى الحسبان. والحرارة الناتجة عن النشاط الإشعاعى هى حرارة تتولد باستمرار نتيجة اضمحلال النظائر المشعة على مدى كبير من الزمن فى باطن الأرض، مثل اليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم... إلخ. ربما يكون السبب فى ارتفاع درجة الحرارة فى باطن الأرض هو الحرارة المنبعثة من تحلل النظائر المشعة، حيث وجد أن تحلل العناصر (الاضمحلال الإشعاعى) غير الثابتة مثل اليورانيوم ليتغير إلى الرصاص يصاحبه درجات حرارة عالية. وقد أوضحت النماذج الحديثة لحرارة الأرض أنه لا يوجد توازن بين الحرارة المتولدة عن النشاط الإشعاعى فى باطن الأرض والحرارة المشتتة من الأرض إلى خارجها، وأن حرارة كوكب الأرض تبرد تدريجيا، إلا أن عملية البرودة تكون بطيئة جدًّا. وقد أشارت بعض النماذج الحديثة إلى أن حرارة وشاح الأرض قلت بحوالى ٣٠٠° - ٣٥٠° سلسية خلال الثلاث ملايين سنة الماضية، وأن درجة حرارة الوشاح الحالية هى ٤٠٠٠°سلسية.

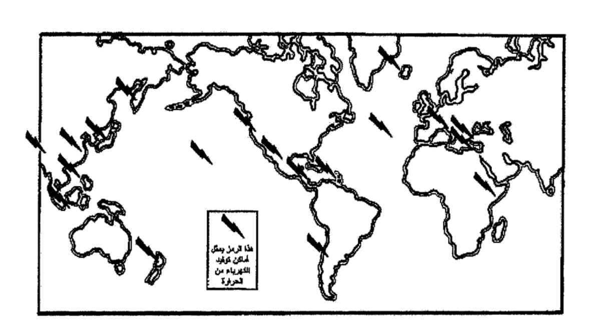
وقد استفادت البشرية على مر العصور من طاقة الأرض الحرارية، وتشير بعض الشواهد الأثرية التاريخية إلى استخدام الإنسان لمصادر حرارة الأرض منذ قرون مضت فى أغراض التدفئة والنظافة وطهى الطعام. ويعود أول استغلال نشيط لمصادر حرارة الأرض إلى العصور الرومانية، حين استخدمت مياه الينابيع الحارة فى الاستحمام والاستجمام والاستشفاء (علاج أمراض العيون والجلد). وفى بداية القرن التاسع عشر استخدمت مياه الينابيع الحارة فى الصناعة، لما تحتويه من مواد كيميائية. مثال ذلك، فى منطقة لاردريللو بإيطاليا وفى سان فرانسيسكو بالولايات المتحدة الأمريكية تم استخلاص حامض البوريك من مياه الينابيع الحارة أو مياه الآبار الضحلة التى تم حفرها لهذا الغرض. كذلك استخدمت المياه الحارة والبخار قليل الضغط لتدفئة المصانع والبنايات السكنية والدفيئات (الصوبات) الزراعية.

وفى عام ١٩٠٤م بدأت أولى المحاولات لاستغلال الطاقة الحركية للبخار المستخرج من مصادر حرارة الأرض لتوليد الطاقة الكهربية. وكانت البداية فى منطقة لاردريللو

بإيطاليا، حيث استخدم الإيطاليون البخار الطبيعى المتصاعد من الأرض فى إدارة المولد الكهربائى. وكان لنجاح هذه التجربة إشارة واضحة للقيمة الصناعية والاقتصادية لطاقة الأرض الحرارية، وأيضًا بداية استثمار هذه الطاقة وتطوير مصادرها، وتلى ذلك اتباع عديد من الدول للنموذج الإيطالى: اليابان عام ١٩١٩م - الولايات المتحدة الأمريكية عام ١٩٢١ - نيوزيلندا عام ١٩٥٨م - المكسيك عام ١٩٥٩م... إلخ. وتعاظم استغلال طاقة الأرض الحرارية بعد الحرب العالمية الثانية، حيث بلغت الطاقة الكهربية المولدة من الحرارة الأرضية: ٦٨٣٣ ميجاوات عام ١٩٩٥م و٧٩٢٢ ميجاوات عام ٢٠٠م و٨٤٠٢ ميجاوات عام ٢٠٠٣م. ويوجد حاليا على مستوى العالم المئات من محطات الطاقة التى تعمل بالبخار الناتج عن مصادر حرارة الأرض (شكل رقم ١). وتمثل الطاقة المولدة من مصادر الحرارة الأرضية فى الدول النامية حوالى ٤٧٪ من إجمالى الطاقة المولدة على مستوى العالم من هذه المصادر.

وغير توليد الكهرباء، تشمل طاقة الأرض الحرارية أنشطة وتطبيقات متنوعة، وتمثل النسب التالية تقريبا هذه الأنشطة:

* ضخ ماء ساخن وبخار لتوليد الكهرباء ٥,٣٦٪.
* حمامات ساخنة ٥,٢٦٪.
* تدفئة بالماء الساخن ٠,٢٢٪.
* دفيئات (صوبات) زراعية ٠,٨٪.
* مزارع مائية ٠,٤٪.
* عمليات صناعية ٠,٣٪.



شكل رقم (١): أماكن توليد الكهرباء من الحرارة الأرضية

لتعرف طاقة الأرض الحرارية ومصادرها وطرق استغلالها والمبتكرات الحديثة للإفادة منها يلقى هذا الكتاب الضوء عن التركيب الداخلى للأرض وطبيعة باطنها والطبقات المكونة لها التى تعتبر المخزن الطبيعى لهذه الطاقة. ويوضح هذا الكتاب بالتفصيل نشأة حرارة الأرض، والظواهر الطبيعية الناتجة عنها وطبيعة مصادر الحرارة الأرضية، والطرق الحالية للاستخدامات المختلفة لطاقة الأرض الحرارية، والابتكارات الحديثة للاستغلال الأمثل لهذه الطاقة.

وإننا لنرجو أن يستفيد القارئ العربى من المادة العلمية المقدمة فى هذا الكتاب، وأن يكون هذا الكتاب إضافة إلى المكتبة العربية.

والله الموفق،

دكتور	دكتور
على عبد العظيم تعيلب	حافظ شمس الدين عبد الوهاب



الفصـل الأول
نشأة الأرض.. طبيعتها وتطورها

Birth of the Earth..
its Nature and Evolution

نشأة الأرض وتطورها

Birth of the Earth..

its Nature and Evolution

من العديد من الدراسات والشواهد استنتج العلماء أن تكون النواة الأولية للأرض استمر حوالى ٤٠ مليون سنة واكتمل مولد الأرض منذ نحو ٥ بليون سنة مضت. وعندما اندمجت أجزاء الأرض، تسارعت الأجزاء الصخرية الكبيرة إلى مركزها بسرعة عالية، مندفعة تحت تأثير قوى الجذب، الأمر الذى أدى إلى ارتفاع حرارة هذه الأجزاء نتيجة لتصادم بعضها مع بعض، ولهذا ارتفعت درجة حرارة الأرض فى أثناء تكونها فيما بعد، وأدى تصادم النيازك والشهب وعدد من الكويكبات أيضًا مع سطح الأرض إلى تولد حرارة إضافية. فى الوقت نفسه أدى التحلل الإشعاعى للعناصر المشعة الموجودة فى بعض صخور الأرض إلى ارتفاع درجة حرارة باطن الأرض. لذا أصبح كوكب الأرض مرتفع الحرارة حتى إن معظم مكونات الكوكب صارت منصهرة عند تكونه.

وقد حبست الحرارة الناتجة عن الاندماج تحت تأثير قوى الجذب فى داخل الأرض ولم يتسرب منها إلى سطحها إلا القليل. أما مقذوفات الفضاء الخارجى المتجهة إلى سطح الأرض نتيجة جذب الأرض لهذه الأجسام، فقد قلَّت فى خلال ٨٠٠ مليون سنة من بدء تاريخ الأرض؛ لذا قلَّ تأثير هذا المصدر الحرارى. وعلى امتداد ملايين السنين، تحللت المواد المشعة داخل باطن الأرض تدريجيًّا، وقلَّ أيضًا هذا المصدر الحرارى ببطء شديد. ونتيجة لذلك، بدأت حرارة الأرض فى الهبوط التدريجى، حيث تصل حرارة الأرض عند مركزها حاليا ٦٠٠٠° سلسية (تصل فى سخونتها إلى ما يعادل حرارة سطح الشمس).

وتشكلت الأرض عند برودتها من عدة طبقات؛ طبقات حول مركز الأرض (اللب)، معدنية التركيب وعالية الكثافة، وصخرية التركيب أقل كثافة فى الوسط، ثم صخور قليلة الكثافة فى القشرة السطحية. ويعتقد العلماء أن الجزيئات المعدنية والصخرية

اندمجتا معًا لتكونا كوكب الأرض، حيث تجمعت المعادن والصخور تدريجيا فى أثناء الاندماج مكونة كوكبا متجانسا لا توجد به طبقات وبعد ارتفاع درجة حرارة الكوكب، وبسبب العوامل الثلاثة السابق ذكرها، انصهرت صخور الكوكب ومعادنه، وتسارع انصهار الحديد والنيكل ذواتا الكثافة العالية إلى مركز الأرض، تحت تأثير قوى الجاذبية لتكون الطبقة المعدنية عالية الكثافة حول مركز الأرض، أما المواد الأقل كثافة فقد طفت نحو السطح مكونة الطبقات الوسطى والقشرة الخارجية للأرض.

وفيما بعد أصبحت طبقة القشرة الخارجية للأرض، والجزء العلوى من الطبقة الوسطى باردتين نظرًا لتسرب حرارة الأرض إلى الفضاء، وبالتالى عندما بردت هذه الصخور أصبحت صلبة وقوية، على العكس من الجزء السفلى من الطبقة الوسطى، فهو ساخن جدًّا وصخوره ضعيفة ومرنة.

للتعرف على طبيعة الأرض وتطورها وما يجرى فى باطنها، يلزم أن نتعرف أولًا على تركيب الأرض الداخلى والطبقات المكونة لها وطبيعة كل طبقة منها:

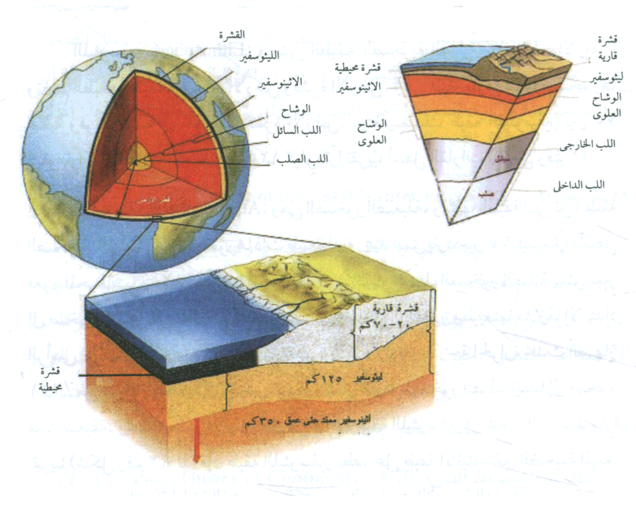
١) التركيب الداخلى للأرض والطبقات المكونة لها

The Earth's Interior and its Layers

يبلغ قطر الأرض القطبى ١٢٦٥٠ كيلومترًا، وقطر الأرض الاستوائى ١٢٦٩٣ كيلو مترًا، وتنقسم الأرض إلى عدد من الطبقات التى يوضحها الشكل رقم (٢):

أ) القشرة الأرضية Crust: هى الطبقة الرقيقة الخارجية للأرض، وتعد أقل طبقات الأرض سمكا وهى باردة نسبيا وصخورها صلبة وقوية. وتختلف صخور قشرة الأرض أسفل قعور المحيطات عنها أسفل القارات (اليابسة) فى السمك والتركيب الصخرى. ويبلغ سمك قشرة الأرض المحيطية بين ٤ و٧ كيلومترات، وتتكون من صخور البازلت الدكناء اللون ذات الكثافة العالية. أما قشرة الأرض القارية فيتردد سمكها بين ٢٠ و٤٠ كيلومترًا وتتكون من صخور الجرانيت الناصلة اللون والأقل كثافة، ويصل سمك قشرة الأرض أسفل سلاسل الجبال القارية نحــو ٧٠ كيلومترًا (شكل رقم٢). والقشرة

الأرضية تراكيبها الجيولوجية معقدة وتشمل الصخور الرسوبية وصخور القاعدة السفلى. وتشكل القشرة المحيطية حوالى ٦٥٪ من المساحة الكلية لسطح الأرض.



شكل رقم (٢) التركيب الداخلى للأرض.

ب) **وشاح الأرض Mantle**: يقع وشاح الأرض أسفل القشرة الأرضية مباشرة. ويصل سمكه إلى حوالى ٢٩٠٠ كيلومتر (شكل رقم٢). ويمثل وشاح الأرض الامتداد الأعظم لباطن الأرض، حيث يشكل ٨٠ ٪ من حجم الأرض. والتركيب الكيميائى لوشاح الأرض متجانس تقريبا، وفيه تزداد حرارة الأرض كما يزداد الضغط بزيادة العمق، حيث تزداد الحرارة نتيجة لتحلل العناصر المشعة وتلامس الوشاح مع لب الأرض. هذه التغيرات فى الحرارة والضغط مع العمق تؤدى إلى تغير فى صلابة صخور وشاح الأرض وقوتها مع

العمق، ووجود طبقات متباينة فى وشاح الأرض. ويقسم وشاح الأرض إلى طبقتين هما: الوشاح العلوى للأرض والوشاح السفلى للأرض. ويتكون وشاح الأرض العلوى من طبقتين رئيستين هما:

الليثوسفير Lithosphere: ويعنى الطبقة الصخرية الصلبة من وشاح الأرض، وتضم الطبقة العليا من وشاح الأرض وقشرة الأرض. وهى طبقة باردة نسبيًا وصخورها صلبة وقوية وتشبه فى خواصها قشرة الأرض. ويتغير سمك طبقة الليثوسفير بين ٧٥ كيلومترًا أسفل قعور المحيطات و١٢٥ كيلومترًا تقريبًا أسفل القارات (شكل رقم ٢).

الأثينوسفير Athenosphere: وهى الصخور الضعيفة، وتمثلها الطبقة التى تلى الطبقة الصخرية (الليثوسفير) وصخورها ذات طبيعة لدنة. عند عمق يتردد بين ٧٥ كيلومترًا (أسفل قعور المحيطات) و١٢٥ كيلومترًا أسفل القارات، حيث تتحول الصخور الصلبة لليثوسفير إلى صخور الأثينوسفير المرنة. ويحدث التغير فى خواص الصخور وطبيعتها ملازمًا الامتداد الرأسى إلى عمق يبلغ عدة كيلومترات فقط. وبسبب وارتفاع درجة الحرارة يحدث انصهار ١-٢٪ من صخور طبقة الأثينوسفير تقريبا، وتتغير طبيعة الصخور الصلبة نسبيا إلى صخور مرنة ضعيفة. وتمتد صخور الأثينوسفير من قاعدة طبقة الليثوسفير إلى عمق ٣٥٠ كيلومترًا تقريبا (شكل رقم ٢)؛ لذا فإن طبقة الليثوسفير تطفو على طبقة الأثينوسفير الضعيفة المرنة. وتوضح هذه الخاصية لطبقة الليثوسفير الكثير من العمليات الأرضية الداخلية.

ويؤدى زيادة درجة الحرارة بزيادة العمق فى باطن الأرض إلى الانتقال من الصخور الصلبة القوية فى طبقة الليثوسفير إلى الصخور الضعيفة المرنة فى طبقة الأثينوسفير؛ لذا فإن صخور طبقة الليثوسفير تكون غير مدعمة بصخور طبقة الأثينوسفير أسفلها. وتؤدى زيادة الضغط مع العمق فى باطن الأرض تحت تأثير الحرارة المرتفعة، إلى زيادة صلابة صخور وشاح الأرض مرة أخرى. وعلى الرغم من صلابة هذه الصخور فإن درجة الحرارة العالية تجعل معظم صخور وشاح الأرض له درجة من المرونة وقابلية للانسياب البطىء. وقد أدت الدراسات الحديثة إلى الاعتقاد بأن وشاح الأرض العميق على حدود لب الأرض، يكون منصهرا فى معظم أجزائه.

جـ) لب الأرض Core : هو الطبقة الداخلية للأرض، ويشكل طبقة شبه كروية الشكل يبلغ نصف قطرها حوالى ٣٤٧٠ كيلومترًا (شكل رقم ٢). وتتكون الطبقة من معدنى الحديد والنيكل. واللب الخارجى للأرض منصهر بسبب درجات الحرارة العالية التى تصل إلى ٦٠٠٠° سلسية والضغوط العالية التى تصل إلى أكثر من مليون مرة مثل الضغط الجوى عند مستوى سطح البحر. ويتميز لب الأرض الداخلى بالصلابة، على الرغم من أن حرارته أعلى من حرارة اللب الخارجى المنصهر، وذلك بسبب الضغط العالى جدًّا المؤثر فيه.

٢) طبيعة باطن الأرض Nature of the Earth's Interior

لتفسير الظواهر الجيولوجية الطبيعية المرتبط حدوثها بباطن الأرض يلزم تعرف باطن الأرض وما يحدث فى داخله من عمليات كيميائية وطبيعية، ينعكس تأثيرهما من باطن الأرض إلى قشرتها الخارجية، وتظهر فى صور متعددة من البنيات الجيولوجية والحركات الأرضية عبر العصور الجيولوجية المختلفة. لذا سوف نستعرض عددا من النظريات التى توضح طبيعة باطن الأرض والعمليات التى تحدث فى عمقها والتحركات الأرضية المتباينة التى تؤثر فى قشرتها الأرضية وتظهر جلية على سطحها.

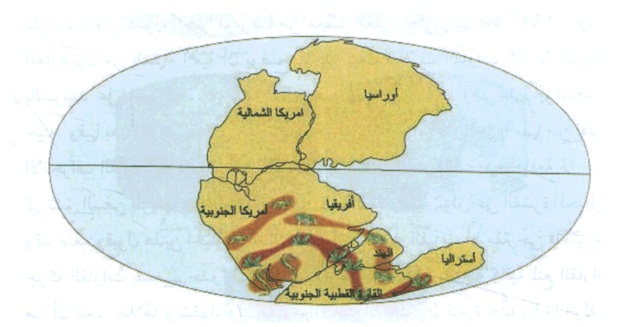
أ) نظرية الانجراف القارى Theory of Continental Drift: يرجع الرأى الأول عن تحرك سطح الأرض إلى فرانسيس بيكون Francies Picon (١٦٢٠م) يليه أنطونيو بللجرينى Antonio Pelligrini (١٨٥٨م) فيما ذكراه عن تشابه شواطئ كل من شرق أمريكا الجنوبية وغرب أفريقيا (شكل رقم ٣). وقد اعتقد بللجرينى فى حدوث كارثة أرضية أدت إلى انقسام الكتلة المكون للقارتين وتباعدهما لتكون كل منها كتلة أرضية منفصلة. وفى عام ١٩١٠م افترض العالم تيلور Taylorأن سلاسل الجبال القارية العالية قد تكونت على سطح الكرة الأرضية بسبب ضغوط جانبية أدت إلى زحف بطىء، ساعد على تكون هذه الجبال. ساد الاعتقاد أيضًا بأن سطح الأرض فى الزمن الجيولوجى البعيد لم يكن على الصورة التى نعرفها حاليا، بل إن كل القارات كانت تكون كتلة واحدة لقارة عملاقة تفلقت أجزاؤها وتباعد بعضها عن البعض لتكون القارات الحالية.



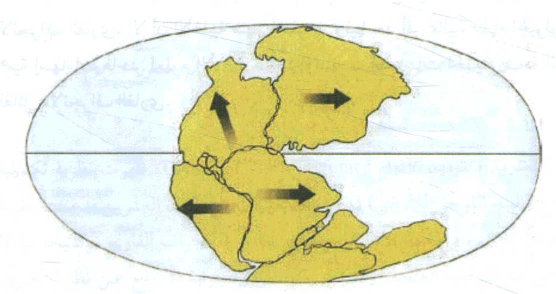
شكل رقم (٣) تكامل شكل الشاطئ الغربى لأفريقيا والشاطئ الشرقى لأمريكا الجنوبية.

وترجع نظرية انجراف (زحف) القارات إلى العالم الألمانى ألفريد فاجنر Alfred Wagner (١٩١٠م) الذى نشر كتابًا عن "أصل القارات والمحيطات" ذكر فيه التكامل الشكلى لشواطئ غرب أفريقيا وشرق أمريكا الجنوبية على جانبى المحيط الأطلنطى لو أنهما اقتربا وتجاورا معا (شكل رقم ٣). وعلى الرغم من أن فاجنر لم يكن أول من أشار إلى هذا الافتراض، إلا أنه سعى إلى تحقيق معتقده بمزيد من الدراسة لخريطة العالم، حيث أدرك أن تكامل شواطئ القارات ليس فقط على جانبى الأطلنطى، لكن هناك قارات أخرى لو تم تحريكها كما ينبغى فإن أجزاء منها تتوافق وتتكامل. وأنشأ فاجنر خريطته التى تجمع القارات فى قارة واحدة مفترضا وجود قارة وحيدة عملاقة تجمع كل القارات تتكون من كتلة واحدة يابسة أسماها "بانجيا Pangea "تعنى "كل الأرض "(شكل رقم ٤). وافترض فاجنر أيضًا أن هذه القارة تفلقت وزحفت أجزاؤها بعيدا، بعضها عن البعض فى اتجاهات مختلفة (شكل رقم ٥). واستمر تباعد أجزاء قارة بانجيا وزحفها خلال

العصور الجيولوجية المختلفة حتى تم التوزيع الجغرافى الحالى لليابسة والبحار والمحيطات (شكل رقم ٦). وخلال الأزمنة الأولى لتطور الأرض تباعد الجزء الشمالى من قارة بانجيا عن الجزء الجنوبى، وسمى الجزء الشمالى منها "لوراسيا Laurasia" أما الجزء الجنوبى فقد سمى "أرض جندوانا Gondwanaland".



شكل رقم (٤): قارة بانجايا (٢٠٠ مليون سنة مضت)

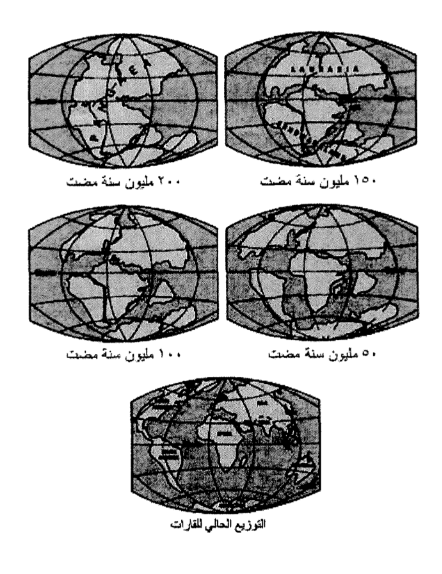


شكل رقم (٥) قارة بانجيا منذ ٢٠٠ مليون سنة مضت موضحا عليها اتجاه حركة الأجزاء المكونة لها.

وقد تفهم فاجنر أن توافق القارات وحده لا يثبت وجود القارة العملاقة؛ لذا بدأ فى البحث عن شواهد إضافية لمعتقده وظل يعمل عليه منذ عام ١٩١٠م حتى وقت وفاته عام ١٩٣٠م.

قوبلت نظرية فاجنر عن الانجراف القارى بمعارضة شديدة من العلماء عند نشرها، وظل تصور فاجنر مرفوضا من معظم العلماء حتى بعد عام ١٩٥٠م. وركز المعارضون من العلماء أهمية أن يوضح فاجنر كيف تنجرف القارات ؟.. لا أن يدلل بالشواهد على انجرافها، أى عليه أن يوضح أسباب حركتها وهو ما لم يوضحه فى حينه. وفيما بعد افترض فاجنر خيارين لانجراف القارات، اعتبرا جزءا مهمًا من نظرية الانجراف القارى: أولهما أن القارات تشق طريقها فى القشرة المحيطية، دافعة لها جانبا كما تشق السفن طريقها فى المياه. وثانيهما، أن القشرة الأرضية تنزلق على القشرة المحيطية. وقد صعب قبول هذين الخيارين آنذاك، حين أثبت علماء الفيزياء أن مقترحى فاجنر عن حركة القارات يصعب حدوثهما لأن القشرة المحيطية صلبة بدرجة كافية لمنع القارات من أن تبحر خلالها وتشقها، وأن مقاومة الاحتكاك ستكون كبيرة جدًّا إذا ما انزلقت القارات على القشرة المحيطية.

وخلال الفترة من ١٩٣٠م إلى ١٩٦٠م دعم عدد قليل من علماء الجيولوجيا نظرية الانجراف القارى، إلا أن الأغلبية منهم أهملوها. وفيما بعد أقر غالبية علماء الجيولوجيا أهمية إسهامات فاجنر لعلوم الأرض عندما أوضحت الدراسات الحديثة صحة الرأى القائل بالانجراف القارى.

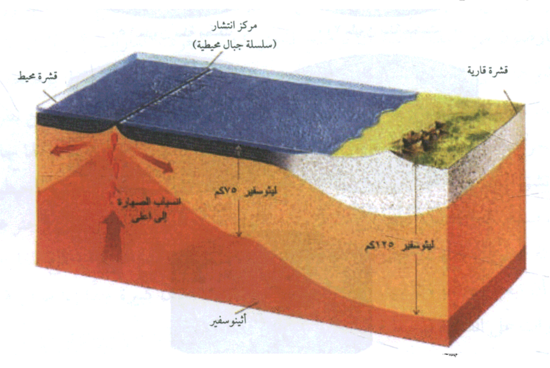


شكل رقم (٦) التوزيع الجغرافى للقارات والمحيطات خلال العصور الجيولوجية.

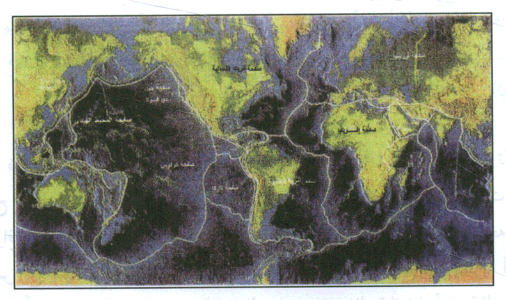
ب) **نظرية تكتونية الألواح** Theory of Plate Tectonics: ظهرت نظرية تكتونية الألواح (البناء اللوحى للأرض) فى فترة السبعينيات من القرن العشرين فدعمت نظرية الانجراف القارى وأوضحت ما صعب على نظرية الانجراف القارى توضيحه بما لا يتعارض مع الثوابت العلمية. وقد تطورت نظرية تكتونية الألواح عن نظرية أخرى ظهرت أيضًا فى فترة الستينيات من القرن العشرين وهى نظرية انتشار أرضية البحر sea floor spreading، حيث تطورت هذه النظرية إلى نظرية تكتونية الألواح.

وتشير نظرية تكتونية الألواح إلى:

١) طبقة الليثوسفير هى الطبقة الخارجية الصلبة القوية غير المتجانسة من الأرض وتتكون من القشرة الأرضية وجزء من الوشاح العلوى للأرض بسمك يصل إلى حوالى ٧٥ كيلومترًا أسفل القارات و١٢٥ كيلومترًا أسفل قعور المحيطات (شكل رقم ٧).



شكل رقم (٧) طبقات الليثوسفير بالمناطق القارية والبحرية.



شكل رقم (٨) حدود الألواح الأرضية وتضاريس قيعان المحيطات.

٢) تطفو طبقة الليثوسفير فوق صخور طبقة الأثينوسفير المتجانسة ذات الخاصية المرنة، وهذه الخاصية اكتسبتها طبقة الأثينوسفير نتيجة لزيادة الحرارة فى باطن الأرض.

٣) لا يوجد حد فاصل بين طبقتى الليثوسفير والأثينوسفير حيث إن النطاق الواقع بينهما يمثل منطقة انتقالية تتغير حدودها وتتداخل فيما بينها بصفة مستمرة (شكل رقم ٧).

٤) اللوح الأرضى جزء من الليثوسفير يشمل الوشاح العلوى وطبقة القشرة الأرضية التى تعلوها، وتشكل القارات وقعور المحيطات السطح العلوى للألواح الأرضية.

٥) يمكن للوح الأرضى الواحد أن يضم قشرة محيطية وقشرة أرضية فى آن واحد.

٦) يمكن أن يكون سمك طبقة الليثوسفير قليل جدًّا عند أواسط المحيطات.

٧) يتكون اللوح من صخور صلبة وقوية تطفو على طبقة الأثينوسفير الحارة المرنة.

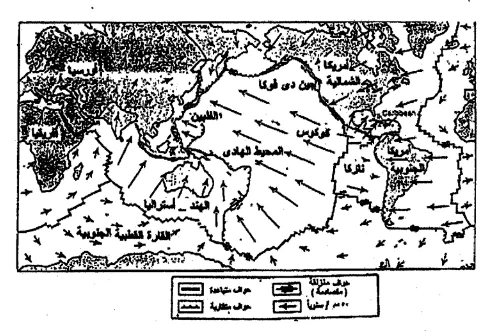
٨) طبقة الليثوسفير مقسمة إلى سبعة ألواح أرضية رئيسية (عملاقة) وعدد من الألواح الأرضية الصغيرة (ثانوية) تسمى الألواح الأرضية التكتونية أو ألواح الليثوسفير (الأشكال أرقام ٨ و ٩). والألـواح الأرضية العملاقة (الرئيسية) هى:

- اللوح الأفريقى.
- اللوح الأوروآسيوى (أوراسيا).
- لوح أمريكا الشمالية.
- لوح أمريكا الجنوبية.
- لوح المحيط الهادى (الباسيفى).
- اللوح الأسترالى الهندى.
- لوح القارة القطبية الجنوبية (أنتاركتيكا).



شكل رقم (٩) توزيع الألواح التكتونية الكبيرة والصغيرة المشكلة للقشرة الأرضية والليثوسفير.

٩) تنزلق ألواح الليثوسفير أفقيًا وببطء على طبقة الأثينوسفير بمعدل يتراوح ما بين ١ إلى ١٦ سم فى العام، ويتحرك كل لوح من الألواح الأرضية نسبيا مع الألواح المجاورة (شكل رقم ١٠).



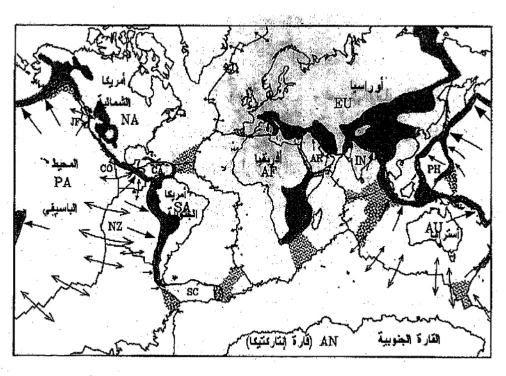
شكل رقم (١٠) الحركة النسبية للألواح التكتونية المشكلة للقشرة الأرضية والليثوسفير محسوبة من القياسات الفضائية.

١٠) الحركة الرأسية للألواح الأرضية صغيرة ويؤثر فيها اتزان طبقة الليثوسفير ويختلف معدلها من منطقة إلى أخرى تبعًا لطبيعة كل منها.

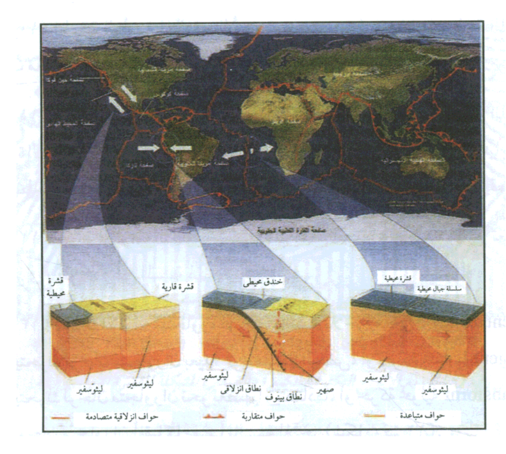
١١) حدود الألواح التكتونية هى صدوع وكسور ومفاصل فى طبقة الليثوسفير والقشرة الأرضية. وحدود الألواح التكتونية ليست خطًا فاصلًا محدد المعالم، بل إنها يمكن أن تشكل نطاقات عريضة الامتداد كما فى بعض المناطق من الكرة الأرضية (شكل رقم ١١).

١٢) حركة الألواح التكتونية تعتمد على اتجاه الصدوع المحددة لها كما تعتمد على العوامل فى باطن الأرض المسببة لها.

١٣) تتحرك الألواح المتجاورة كل منها بالنسبة للآخر إما حركة متباعدة divergent عندما يتحرك لوحان متجاوران بعيدا عن بعضهما البعض، أو حركة متقاربة convergent عندما يتحرك لوحان متجاوران نحو بعضهما ويتصادما، أو حركة تحولية transformعندما ينزلق لوحان متجاوران أفقيا كل منهما بالنسبة للآخر (شكل رقم ١٢).



شكل رقم (١١) حدود الألواح الأرضية والحركة النسبية بينها.



شكل رقم (١٢): حدود الألواح الأرضية ودور طبقتى الليثوسفير والأثينوسفير فى تشكيل هذه الحدود.

١٤) حدود الألواح التكتونية من الأماكن النشيطة تكوينيا: يعد حدوث الزلازل والبراكين من النواتج الخطيرة لحركة الألواح التكتونية. وتحدث الغالبية العظمى من النشاط الزلزالى والبركانى عند حدود ونطاقات الألواح التكتونية، حيث تؤدى الطاقة المتجمعة عند حدود هذه الألواح إلى حدوث النشاط الزلزالى والبركانى. على العكس من ذلك، تحدث نسبة ضئيلة من الزلازل والبراكين فى المناطق الداخلية من الألواح التكتونية، ويكون هذا النشاط عادة فى أماكن الصدوع والفواصل الناتجة عن الضغوط المؤثرة فى طبقة الليثوسفير. لذا فإن معظم هذه النشاطات الأرضية الطبيعية تحدث فى صخور طبقة الليثوسفير.

٣) أنواع حدود الألواح التكتونية Types of Plate Boundaries

أ) حدود الألواح المتباعدة Divergent Plate Boundaries: حين يتحرك اللوحان المتجاوران بعيدًا بعضها عن البعض (شكل رقم ١٢)، تحدث فتحات فى القشرة الأرضية والليثوسفير عند حدود هذه الألواح نتيجة لتباعدها. وعندئذ ترتفع طبقة الأثينوسفير أسفل

اللوحان إلى أعلى، لتملأ الفجوات والفتحات بين اللوحين المتباعدين. وعند ارتفاع الأثينوسفير بين اللوحين المتباعدين ينصهر بعضا منه ويتحول إلى صهارة (magma). ويرتفع معظم هذه الصهارة إلى سطح الأرض، حيث تبرد مكونة قشرة أرضية جديدة (ليثوسفير جديد) حول حدود الألواح المتباعدة (شكل رقم ٧). ويحدث معظم هذا النشاط أسفل المحيطات، حيث إن معظم الألواح التكتونية المتباعدة تقع عند قعور المحيطات. عند مركز التباعد، يكون الأثينوسفير المرتفع عالى الحرارة. ويكون الأثينوسفير ضعيفًا ومرنًا. يبرد الجزء العلوى منه (من١٠-١٥كيلومترًا) ويكتسب صلابة وقوة ويأخذ طبيعة الليثوسفير. ويزداد سمك الليثوسفير تدريجيا وينتشر بعيدا عن مركز التباعد، حيث يصل سمك الليثوسفير أسفل قعور المحيطات إلى ٧٥ كيلومترًا وأسفل القارات إلى ١٢٥ كم.

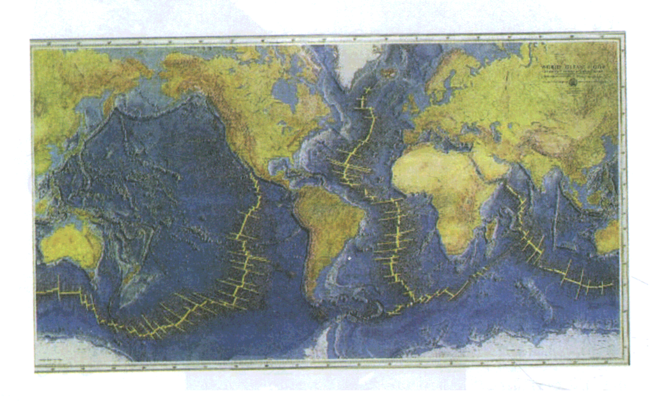
والليثوسفير الحديث المتكون حول مركز التباعد المنتشر فى قاع المحيط يكون ذا درجة حرارة عالية وكثافة منخفضة؛ لذا فإنه ينتشر ويتكثف ويصل إلى ارتفاعات كبيرة مكونا سلاسل جبال تحت مياه المحيطات تسمى "حيود أواسط المحيطات mid-oceanic ridges "وتوضح الخريطة بالشكل رقم (١٣) التوزيع الجغرافى لحيود أواسط المحيطات كما يمثل الشكل رقم (٧) انتشار قعر المحيط وتكوين حيود أواسط المحيطات. ترتفع حيود أواسط المحيطات، فى بعض من المناطق القليلة، إلى أعلى من سطح البحر مكونة عددا من الجزر. أما فى أغلب الأحيان فإن حيود أواسط المحيطات ترتفع من ٢- ٣ كيلومترات فوق قعر المحيط. وتكون حيود أواسط المحيطات أطول سلسلة جبال أرضية.

أما فى المناطق القارية، فإن حدود الألواح المتباعدة يمكن أن تشطر قارة إلى جزئين فى عملية جيولوجية تسمى "الخسف القارى continental rifting ". حيث يتكون صدع عميق (واد متصدع) نتيجة تطور الانخساف القارى بسبب ضعف القشرة الأرضية وانشقاقها وغوصها إلى أسفل عندما تتباعد حدود اللوحين الملاصقين لها.

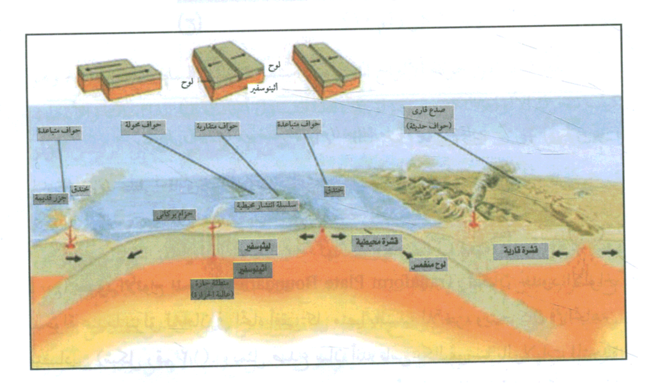
ب) **حدود الألواح المتقاربة Convergent Plate Boundaries**: هنا يتحرك اللوحان المتجاوران تجاه بعضهما البعض فيتصادمان أو يغوص أحدهما أسفل الآخر. وتسمى عملية الهبوط "اندساس أو انغماس subduction "(الأشكال أرقام ١٢ و١٤). ويكون نطاق الاندساس (الانغماس) طويلا وضيقا فى منطقة هبوط اللوح الأرضى فى وشاح الأرض.

على مستوى الكرة الأرضية، يكون معدل هبوط الليثوسفير القديم فى وشاح الأرض عند نطاقات الانغماس (الاندساس) مساويًا لمعدل تكون الليثوسفير الحديث عند مراكز الانتشار فى قعور المحيطات؛ لذلك فإن الأرض تحافظ على توازنها بين نشأة الليثوسفير الحديث ودمار الليثوسفير القديم (شكل رقم ١٤). وتوجد الصخور الأقدم عمرًا فى المناطق القارية، كما لا يدمر الاندساس إلا القليل من صخور القشرة القارية. أما قعور المحيطات فتكون صخورها حديثة ويرجع عمر الأقدم منها إلى حوالى ٢٠٠ مليون سنة مضت.

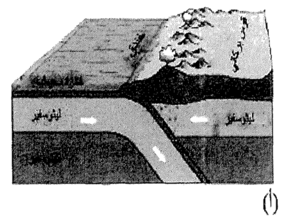
ونظرا لأن الألواح التكتونية تكون غير متساوية الكثافة، فأينما وجد لوحان أرضيان مختلفان فى الكثافة، فإنهما يتصادمان، وينغمس اللوح الأعلى كثافة منهما أسفل اللوح الأقل كثافة، الذى يظل طافيا فوق طبقة الأثينوسفير. ويمكن أن يحدث التصادم بين لوح محيطى ولوح قارى أو لوحين محيطيين أو بين لوحين قاريين (شكل رقم ١٥).



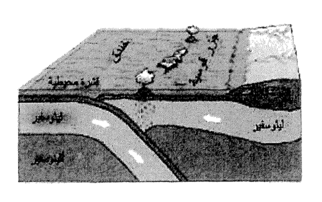
شكل رقم (١٣) التوزيع الجغرافي لسلاسل جبال أواسط المحيطات.



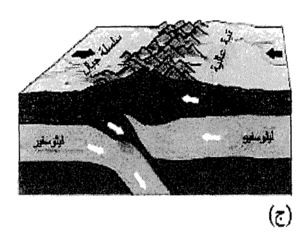
شكل رقم (١٤) حدود الألواح الأرضية (متباعدة- متقاربة- محولة) وتوازن الليثوسفير.



(أ)



(ب)



(ج)

شكل رقم (١٥) يوضح الأنواع المختلفة من الألواح المتقاربة

أ) تقارب محيطى- قارى. ب) تقارب محيطى- محيطى. ج) تقارب قارى- قارى

ج) **حدود الألواح المحولة** Tranaform Plate Boundaries: تتكون حدود الألواح المحولة عندما ينزلق لوحان فى اتجاه أفقى كل منهما بالنسبة للآخر، ويتحركان فى اتجاهين متضادين (شكل رقم ١٢). ويمثل صدع سان أندرياس بكاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية أشهر الصدوع المحولة الواقعة بين لوح شمال أمريكا واللوح الباسيفيكى. وهذا

النوع من حدود الألواح يمكن أن يحدث فى كل القارات أو المحيطات. ويحدث عن حركة الألواح المحولة نشاط زلزالى يكون قويا فى بعض الأحيان.

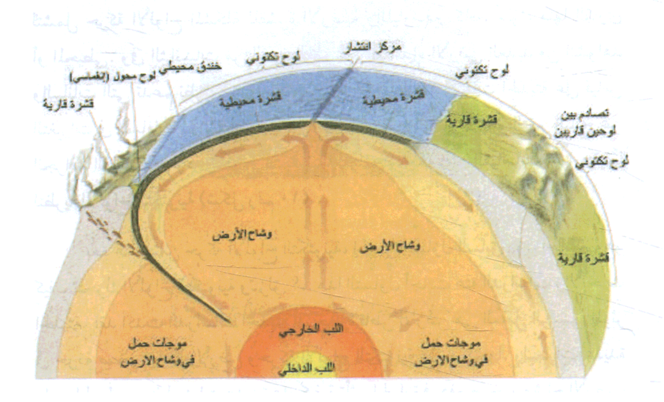
٤) كيف تتحرك القارات والألواح التكتونية؟

How Continents and Plates Move?

فى الثلاثينيات من القرن العشرين صاغ فاجنر Wagnerنظرية الانجراف القارى، ثم بعد ذلك فى الستينيات من القرن نفسه صاغ العلماء نظرية انتشار قعور المحيطات وتكوين سلاسل حيود أواسط المحيطات التى تطورت فيما بعد إلى نظرية الألواح التكتونية لتشمل حركة الألواح المشكلة للقشرة الأرضية والليثوسفير كافة، سواء منها القارى أو المحيطى. وفى الثمانينيات من القرن العشرين جمع علماء الأرض العديد من الشواهد والبيانات التى تدعم نظرية الألواح التكتونية، كما ساعدت التقنيات الحديثة على قياس التغيرات فى المسافات بين القارات والألواح التكتونية بدقة عالية، وهو التغير الناتج عن انجراف القارات وحركة الألواح التكتونية. لذلك أضافت هذه القياسات دعمًا حقيقيًا لنظرية الألواح التكتونية (شكل رقم ١٠).

بعد التأكد من حركة الألواح التكتونية، استمر التساؤل السابق دون إجابة.. وهو كيف تتحرك الألواح التكتونية وتنزلق ؟.. هذا التساؤل أجابت عنه الدراسات والأبحاث الحديثة، فقد أكدت الدراسات الحديثة أن حرارة باطن الأرض هى العامل الرئيسى المؤثر فى حركة صخور باطن الأرض وحركة الألواح التكتونية على سطحها. ولسنوات عديدة راهن الجيولوجيون لسنوات عديدة على كيفية تأثير الحرارة فى دفع صخور وشاح الأرض، وقدرتها على تحريك طبقة من الصخور سمكها ١٠٠ كيلومتر. وقد أطلق الجيولوجيون على هذه الحرارة مجازًا "آلة الحرارة الأرضية". ولإيضاح عمل الحرارة الأرضية، نعود بالذاكرة إلى تركيب الأرض، حيث يشغل وشاح الأرض نطاقا كبيرا من باطن الأرض يمتد من القشرة الأرضية الرقيقة نسبيًا حتى عمق ٢٩٠٠ كيلومتر، ليتلامس مع لب الأرض. ودرجة حرارة صخور وشاح الأرض تكون مرتفعة بسبب اضمحلال العناصر المشعة ومتبقيات الحرارة الأرضية التى تولدت بعد نشأة الأرض بالإضافة إلى الحرارة المنقولة نتيجة تلامس صخور

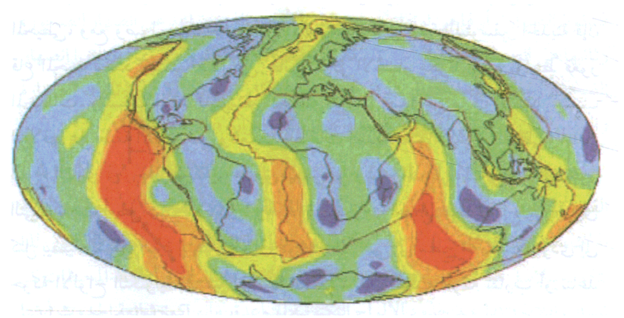
الوشاح الصخرى مع لب الأرض الأكثر سخونة. وتعمل الحرارة العالية فى وشاح الأرض على تمزيق صخوره الصلبة الأمر الذى يؤدى إلى لدونتها ومرونتها وانسيابها التدريجى ببطء. ويكون وشاح الأرض العميق (السفلى) أعلى حرارة من وشاح الأرض العلوى، فيؤدى ذلك إلى تمدد الصخور الساخنة العميقة وارتفاعها إلى أعلى فى اتجاه السطح، كما يرتفع البالون الساخن فى الغلاف الجوى. هذا الارتفاع إلى أعلى يكون بطيئا وتدريجيا وبمعدل سنتيمترات قليلة فى العام، إلا أنه ينقل كميات هائلة من الحرارة فى اتجاه سطح الأرض، وتسمى هذه العملية "تيارات الحمل convection currents فى وشاح الأرض mantle " (شكل رقم ١٦).



شكل رقم (١٦) انتقال الحرارة فى وشاح الأرض بفعل تيارات الحمل وتأثيرها فى حركة الألواح الأرضية

تدفع تيارات الحمل وشاح الأرض والليثوسفير إلى الحركة فى كتل كبيرة تشكل الألواح التكتونية الجزء العلوى منها. حيث يتحرك وشاح الأرض فى كتل كبيرة مخروطية الشكل قمتها لب الأرض وقاعدتها سطح الأرض. وتشكل القارات والمحيطات الأجزاء

العلوية من الكتل الكبيرة. وعندما تنتقل الصخور الملتهبة التى تحمل كميات كبيرة من الحرارة من باطن الأرض إلى سطحها أو قريبا منه، تشع حرارتها فى الفضاء مما يجعلها تبرد وتفقد مرونتها وتكون طبقات من الصخور الصلبة القوى سمكها حوالى ١٠٠ كيلومتر (الليثوسفير) وهى التى تشكل الطبقة العليا من وشاح الأرض وطبقات القشرة القارية والقشرة المحيطية. ويمثل الشكل رقم (١٧) خريطة الانسياب الحرارى التى توضح مقدار الحرارة التى تنساب من باطن الأرض إلى سطحها، حيث يتضح منها أن مناطق أواسط المحيطات وبعض حدود الألواح التكتونية هى أعلاها انسيابا. وقد وجد أيضًا عند حفر آبار البترول أو الآبار العميقة أو المناجم أن درجة الحرارة ترتفع درجة واحدة سلسية لكل ٣٠ مترًا عمقا تقريبا، لكن هذا الارتفاع غير ثابت فى المناطق المختلفة، فقد يكون الارتفاع فى درجة الحرارة درجة واحدة لكل ٤٠ مترًا عمقا. ومعنى ذلك أن درجة الحرارة ستصل إلى نحو ٣٠٠٠° سلسية عند عمق مئة كيلو متر تقريبا من سطح الأرض، وهى درجة حرارة كافية لصهر الأجزاء الصخرية فى أعماق الأرض، ولكن هذا ليس الحال تماما، إذ إن ثقل العمود الصخرى فوق المادة الصخرية المنصهرة، سيولد ضغوطا هائلة تجعلها (معظمها) فى صورة صلبة، إلا أن تأثير الاضمحلال الإشعاعى وانطلاق الإشعاعات وعوامل جيولوجية أخرى، تجعل بعض أجزاء من أعماق الأرض فى صورة منصهرة.



شكل رقم (١٧) خريطة الانسياب الحرارى

وتعمل قوة دفع تيارات الحمل أيضًا على دفع طبقة الليثوسفير لتنزلق على طبقة الأثينوسفير أفقيا عبر سطح الأرض. ونظرًا لأن كتل الوشاح تنساب فى اتجاهات مختلفة فإن الألواح التكتونية تتحرك أيضًا فى اتجاهات مختلفة عندما تنزلق على سطح الأرض، وعندما تستمر برودة هذه الكتل المتحركة، تزيد كثافتها عن كثافة الصخور الموجودة أسفلها، وعندئذ تغوص فى وشاح الأرض، لكنها تكون قد انجرفت لعدة ألوف من الكيلومترات على سطح الأرض قبل أن تغوص إلى أسفل لتعود إلى وشاح الأرض مرة أخرى. عندما ينغمس لوح تكتونى إلى الحدود بين وشاح الأرض ولبها، عند عمق ٢٩٠٠ كيلومتر، يرتفع الكم نفسه من الصخور الحارة من الوشاح العميق فى حركة عكسية إلى السطح أسفل مركز الانتشار المحيطى، مكونا طبقات حديثة من الليثوسفير لتحل محل ما فقد بسبب الانغماس (الاندساس) (شكل رقم ١٦).

ويوضح الشكل رقم (١٦) العمليات المتوافقة لحركة الليثوسفير تحت تأثير تيارات الحمل فى طبقة الأثينوسفير ووشاح الأرض. حيث تنساب صخور الوشاح عالية الحرارة تجاه السطح، وينفتح قعر المحيط عندما يتباعد لوحان محيطيان، وتتصاعد مواد الأثينوسفير المنصهرة لتملأ الفجوات بين اللوحين وتنتشر على جانبى الفجوات. عندما تبرد الصخور وتتصلب وتكون طبقة ليثوسفير حديثه عند مركز الانتشار المحيطى، ومع وصول مواد جديدة من الأثينوسفير نحو طبقة الليثوسفير الحديثة فإن قاع المحيط يتمدد وينتشر بعيدا على جانبى مركز الانتشار مكونا حيود أواسط قعور المحيطات. وتنساب طبقة الليثوسفير الحديثة تدريجيا بعيدا عن مركز الانتشار بسبب انزلاقها على طبقة الأثينوسفير وتنغمس الطبقات القديمة منها (اللوح المحيطى) أسفل اللوح القارى فى رحلة طويلة إلى مناطق العمق من وشاح الأرض، لتحل محل الصخور التى ارتفعت أسفل مركز الانتشار. وهكذا فإن تيارات الحمل تحرك وشاح الأرض فى كتل بيضية الشكل كبيرة تمتد من أعماق الوشاح الأرضى إلى سطح الأرض، وتؤدى إلى حركة الألواح التكتونية بالنسبة لبعضها البعض، سواء كانت حركة تقارب أو تباعد بينهما أو حركة محولة لكل منهما بالنسبة للآخر.

٥) تأثير حركة الألواح الأرضية فى نظام الأرض

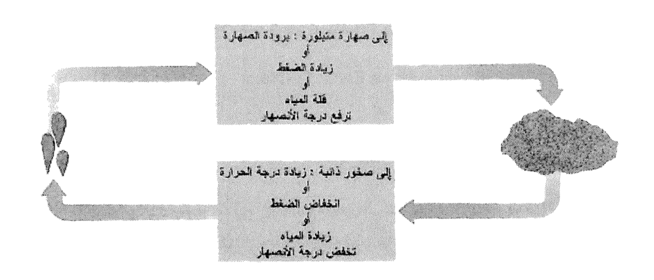
Effect of Plate Movements on Earth System

تؤدى حركة الألواح إلى حدوث زلازل وطفوح بركانية، كما تؤدى إلى تكوين سلاسل الجبال أيضًا وإعادة توزيع القارات والمحيطات، ويمكن توضيح ذلك فيما يلى:

أ) **حدوث الزلازل:** النشاط الزلزالى شائع الحدوث عند حدود الألواح التكتونية الثلاثة (المتباعدة والمتقاربة والمحولة)، لكنه أقل حدوثا فى داخل الألواح التكتونية ذاتها. ويتعاظم حدوث النشاط الزلزالى عند حدود الألواح التكتونية نظرا لأنها نطاقات انجراف للألواح التكتونية وانزلاقها بالنسبة لبعضها البعض. ونادرا يكون انجراف الألواح أو انزلاقها منتظما دون احتكاك. وعادة ما تتوقف الحركة لمدة متفاوتة تتردد بين شهور ومئات السنين، ثم يتحرك أحد الألواح فجأة لعدة سنتيمترات أو بضعة أمتار بالنسبة إلى اللوح المجاور، ويحدث الزلزال نتيجة لهذه الحركة الفجائية.

ب) **حدوث الطفوح البركانية:** تحدث الطفوح البركانية عندما ترتفع اللابة lava الحارة إلى سطح الأرض. والطفوح البركانية شائعة الحدوث عند حدود كل من الألواح التكتونية المتقاربة والمتباعدة. وهناك ثلاث عمليات أرضية مختلفة تساعد على انصهار الصخور فتتكون الصهارة. أولها هى ارتفاع حرارة باطن الأرض الذى يساعد على انصهار الصخور، وثانيها هى انصهار الصخور الحارة عندما ينخفض الضغط الواقع عليها، وثالثها انصهار الصخور الحارة عندما تختلط بالمياه. ويوضح الشكل رقم (١٨) دورة تكون الصهارة والتبلور ودورة تكوين الصخور الصلبة تحت تأثير الحرارة والضغط والمياه.

وعند حدود الألواح المتباعدة، يندفع جزء من نطاق الأثينوسفير الحار لأعلى لملء الفراغ المتكون بين اللوحين المتباعدين، ويقل الضغط بسبب ارتفاع الأثينوسفير. ونتيجة لذلك، تنصهر أجزاء من الليثوسفير مكونة صهارة بازلتية، تطفح على سطح الأرض. لذا تتكون سلاسل من البركانيات البحرية بمناطق سلاسل جبال قعور أواسط المحيطات كما تنساب اللابة lava عند حدود الألواح التكتونية المتباعدة. والبراكين شائعة الحدوث أيضًا فى مناطق الصدوع القارية.



شكل رقم (١٨) دورة انصهار الصخور ودورة تكوين الصخور الصلبة

تحت تأثير الحرارة والضغط والمياه

عند حدود الألواح المتقاربة، يطفو جزء من الليثوسفير المحيطى على طبقة الأثينوسفير. ويحمل اللوح الهابط إلى باطن الأرض الطين المشبع بالمياه وصخور قعر البحر إلى أسفل. وعندما يهبط اللوح فى وشاح الأرض يصبح أكثر سخونة، وتدفع الحرارة المياه لأعلى لترتفع فى طبقة الليثوسفير الساخنة أسفل اللوح العلوى (الراكب). والماء هو أحد العناصر الرئيسة التى تسبب انصهار صخور الأثينوسفير وتكون الصهارة فى نطاق الانغماس. ترتفع الصهارة من خلال طبقة الليثوسفير التى تعلوها، حيث يتصلب البعض منها فى القشرة الأرضية ويطفح البعض الآخر إلى سطح الأرض فى صورة براكين. وبراكين هذا النوع شائعة الحدوث بالقرب من نطاقات الانغماس الأرضى فى أغلبها.

ج) **تكون سلاسل الجبال:** تكونت العديد من سلاسل الجبال العظمى عند نطاقات الانغماس الأرضى، ويرجع ذلك إلى العديد من العمليات الأرضية التى تساعد على نشأة سلاسل الجبال عند هذه النطاقات. حيث تعمل الكميات الهائلة من الصهارة على رفع حرارة القشرة الأرضية وإضافة كميات هائلة من المواد إليها، كذلك يزداد سمك القشرة الأرضية أيضًا عندما يتقارب لوحان أرضيان. وتساعد الطفوح البركانية على تكوين

سلاسل جبال بركانية. تطفو حتى القشرة الأرضية السميكة على سطح الأثينوسفير الرخو المرن وترتفع مكونة سلاسل الجبال، وفى حالات أخرى، عندما تتقارب قارتان وتتصادمان بعدما يلتهم الانغماس الأرضى كل ما يعترضه من القشرة المحيطية، تتكون سلاسل جبال ضخمة نتيجة لهذا التصادم القارى. مثال ذلك جبال الهيمالايا وجبال الألب.

وعادة ما يحدث تكون سلاسل جبال بركانية كبيرة عند نطاقات الصدوع، نظرًا لطفو الليثوسفير الحديث الملتهب إلى ارتفاعات كبيرة، وتجمع كميات ضخمة من الصهارة عند هذه النطاقات. مثال ذلك سلاسل حيود أواسط المحيطات وبراكين صدع شرق أفريقيا.

د) هجرة القارات والمحيطات: تنجرف القارات على سطح الأرض حيث إنها تعد جزءا من ألواح الليثوسفير المتحركة، لأنها تمتطى ظهر هذه الألواح. وتؤدى حركة القارات وهجرتها إلى اتساع محيطات وانكماش محيطات أخرى. مثال ذلك، يتسع المحيط الأطلنطى فى الوقت نفسه ينكمش المحيط الهادى (الباسيفى). لذا، فإنه نتيجة لحركة القارات، انفتحت قعور المحيطات وانغلقت على امتداد العصور والأزمنة الجيولوجية.

هـ) الحركة الرأسية لليثوسفير: تطفو طبقة الليثوسفير القوية الصلبة الباردة على طبقة الأثينوسفير الضعيفة المرنة الساخنة. وإذا أضيفت كتلة كبيرة إلى الليثوسفير فإنها تغوص فى الأثينوسفير أسفله وينجرف الأثينوسفير بعيدًا ليفسح المكان لكتلة الليثوسفير الهابطة، حيث يتبع الليثوسفير فى سلوكه قانون الطفو. والعكس صحيح، فلو أزيحت كتلة كبيرة عن الليثوسفير، فإن الأثينوسفير يرتفع دافعا طبقة الليثوسفير إلى أعلى. وظاهرة طفو وتوازن طبقة الليثوسفير على طبقة الأثينوسفير تسمى الاتزان الرأسى isostasy، أما رد الفعل المتمثل فى الحركة الرأسية وتغير العمق فيسمى ضبط الاتزان الرأسى isostatic adjustment.

الفصل الثانى

الظواهر الطبيعية الناتجة عن حرارة الأرض

الظواهر الطبيعية الناتجة عن حرارة الأرض

١) النشاط البركانى Volcanic Activity

البراكين ظاهرة من الظواهر الطبيعية التى ترتبط بطبيعة الأرض وتركيبها الداخلى ومكوناتها الكيميائية والعوامل التى تجرى فى باطنها. وقد عرف الإنسان ظاهرة البراكين منذ القدم والتى تسببت فى العديد من الكوارث الطبيعية المروعة. ويقترن النشاط البركانى عادة بخروج مواد منصهرة وغازات فى درجة حرارة عالية من باطن الأرض. ويكون خروج المواد المنصهرة (الصهارة) مصحوبًا إما بانفجارات عنيفة أو بانسياب هادئ. وتعتبر الطفوح البركانية إحدى الظواهر العنيفة المصاحبة للنشاط البركانى. وفى دراسة إحصائية قدر أن الطفوح البركانية قتلت نحو ١٠٠,٠٠٠ نفس خلال المئة سنة الماضية، ودُفِنَتْ مدن وقرى بأكملها أسفل الطفوح المنصهرة أو الرماد البركانى.

ويرجع حدوث النشاط البركانى إلى عوامل طبيعية فى باطن الأرض، مثل الزلازل الطبيعية. وفى بعض الأحوال يصاحب فوران بعض البراكين نشاط زلزالى، لكنه ليس بالضرورة أن يصاحب النشاط الزلزالى حدوث البراكين.

تكوُّن الصهارة (الماجما) فى باطن الأرض

تعد حرارة باطن الأرض هى العامل الرئيسى لتكوين الصهارة (magma) فى باطن الأرض. ولتفهم هذا العامل الرئيسى والبيئة المساعدة فى تكون الصهارة، نعود إلى تركيب باطن الأرض. حيث يشغل وشاح الأرض نطاقا كبيرا من باطن الأرض، الذى يمتد من القشرة الأرضية الرقيقة نسبيًا إلى عمق ٢٩٠٠ كيلومتر من سطح الأرض تقريبا ليتلامس مع لب الأرض (شكل رقم ٢). وصخور الوشاح الصخرى للأرض تكون مرتفعة الحرارة بسبب تحلل العناصر المشعة ومتبقيات حرارة الأرض التى تولدت بعد نشأتها، بالإضافة إلى الحرارة المنقولة إلى الوشاح الصخرى نتيجة تلامسه مع لب الأرض (الأكثر سخونة). وتعمل الحرارة العالية فى وشاح الأرض وعمليات أخرى مساعدة على انصهار الصخور

وتكوين الصهارة، وفى طبقات الأثينوسفير، عند عمق يتراوح بين ١٠٠ و ٣٥٠ كيلومترًا تحت سطح الأرض، تكون الحرارة مرتفعة والضغط منخفضًا حتى إن نحو ١ أو ٢٪ من صخور الأثينوسفير تكون فى صورة منصهرة. أما غالبية صخور الأثينوسفير فتكون مرنة ودرجة حرارتها عالية تقترب من درجة انصهارها.

وطبقة الأثينوسفير عالية الحرارة هى مصدر الصهارة (الماجما)، حيث تنصهر حجوم كبيرة من الصخور نتيجة للعوامل التى تؤثر فيها. والعوامل التى تؤثر فى باطن الأرض والتى تؤدى إلى انصهار صخور الأثينوسفير وتكوين الصهارة هى: ارتفاع درجة الحرارة - انخفاض الضغط - زيادة المياه (شكل رقم ١٨).

أ) ارتفاع درجة الحرارة: تنصهر الصخور عندما ترتفع حرارتها، حيث يؤدى الارتفاع الشديد للحرارة فى الأثينوسفير إلى انصهار الصخور وتكوين الصهارة.

ب) انخفاض الضغط: يتوقف دور انخفاض الضغط فى انصهار الصخور وتكوين الصهارة على التركيب الذرى للمعادن المشكلة للصخور. حيث إن المعدن الصلب يكون له تنظيم ذرى معين وذراته متماسكة، وعندما ينصهر المعدن تتباعد ذراته وتتحرك بحرية وتأخذ حجما أكبر من حجم المعدن عندما يكون صلبا. وغالبا يزداد حجم الصهارة بمقدار ١٠٪ تقريبا عن حجم الصخور قبل انصهارها.

وعندما يسخن الصخر، على سطح الأرض، إلى درجة الانصهار، فإنه ينصهر لأن الضغط القليل على سطح الأرض لا يمنعه من التمدد. أما فى داخل الأثينوسفير، وعلى الرغم من درجة الحرارة العالية جدًا، التى تكون أعلى بكثير من درجة انصهار الصخور، فإن الضغوط العالية تمنع الصخور من التمدد، وبالتالى فإنها لا تنصهر. لذا فعندما ينخفض الضغط فى الأثينوسفير تنصهر كميات كبيرة من صخوره.

ج) زيادة المياه: تنصهر الصخور المشبعة بالمياه عادة عند درجة حرارة منخفضة عن الصخور الجافة. لذا فإن زيادة المياه فى الصخور القريبة فى حرارتها من درجة حرارة انصهارها، يؤدى إلى انصهارها وتكون الصهارة.

وعلى ذلك فإن درجات الحرارة العالية التى تعمل فى طبقات الأثينوسفير، وانخفاض الضغوط وزيادة المياه تؤدى إلى تكوين الصهارة (الماجما) واندفاعها إلى أعلى تجاه المناطق الضعيفة من القشرة الأرضية نتيجة تمدد الصهارة وعدم استقرارها بسبب الغازات المصاحبة لها. وتخرج هذه الصهارة من المناطق الضعيفة فى القشرة الأرضية، مثل الصدوع والشقوق والفواصل والشدوخ على هيئة براكين أو طفوح بركانية. وقد يصاحب خروج الصهارة انطلاق غازات وأبخرة تدفع الصهارة بقوة انفجار هائلة.

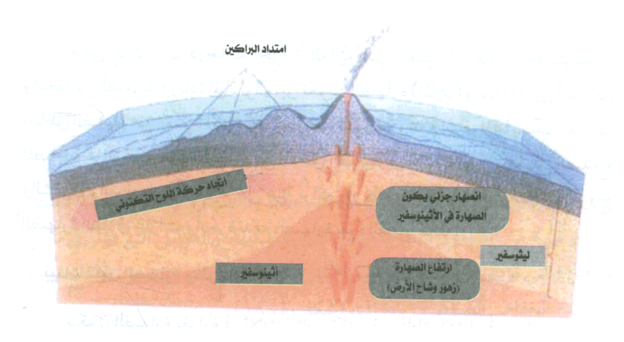
بيئات تكوُّن الصهارة وظروفها

تتكون الصهارة بغزارة فى ثلاث بيئات تكتونية: مناطق انتشار قعور المحيطات - مناطق تكوين زهور وشاح الأرض - نطاقات انغماس الألواح الأرضية.

أ) تكوُّن الصهارة فى مناطق انتشار قعور المحيطات: عندما يرتفع اللوح الأرضى (لوح الليثوسفير) عند مناطق انتشار أرضية المحيطات، يندفع الأثينوسفير اللدن عالى الحرارة إلى أعلى ليملأ الفراغ فى منطقة الانتشار (شكل رقم ٧). وعندما ترتفع صخور الأثينوسفير إلى أعلى ينخفض الضغط وتتكون الصهارة. ونظرا لأن الصهارة تكون قليلة الكثافة عن الصخور المحيطة بها، فإنها ترتفع إلى أعلى فى اتجاه السطح وتنساب على قاع المحيط.

ومعظم مناطق انتشار أرضية المحيطات تتكون عندها سلاسل حيود أواسط المحيطات، نظرًا لأن الصهارة المنتشرة على قاع المحيط تتصلب مكونة قشرة محيطية جديدة، تعتلى حواف الألواح التكتونية المتباعدة.

ب) تكوُّن الصهارة فى مناطق زهور وشاح الأرض: زهور وشاح الأرض هى كتل ساخنة لدنة تتكون عند أعماق مختلفة فى وشاح الأرض. ونظرًا لسخونة هذه الكتل اللدنة عن صخور وشاح الأرض المحيط بها، وقلة كثافتها فإنها تطفو وترتفع إلى أعلى (شكل ١٩ وشكل ٢٠). عندما ترتفع زهور وشاح الأرض، ونتيجة لذلك، يقل الضغط وتتكون الصهارة التى ترتفع إلى أعلى لتطفح على سطح الأرض. والبقع الساخنة هى مناطق نشاط بركانى على سطح الأرض تعلو زهور وشاح الأرض مباشرة. ونظرا لأن زهور وشاح الأرض تتكون أسفل الليثوسفير، فإن البقع الساخنة يمكن أن توجد فى داخل الألواح الأرضية التكتونية.



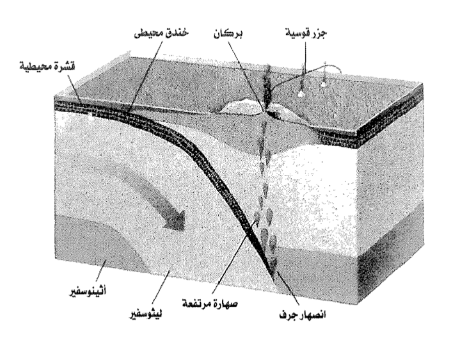
شكل رقم (١٩) تكوين الصهارة فى الأثينوسفير وصعودها إلى فوهة البركان.

ج) **تكون الصهارة فى نطاقات انغماس الألواح الأرضية:** فى مناطق انغماس الألواح الأرضية فى وشاح الأرض (الأشكال أرقام ١٦ و٢١ و٢٢)، يكون اللوح المنغمس مغطًى بالقشرة الأرضية المشبعة بالمياه، وعندما تغوص الصخور المشبعة بالمياه فى وشاح الأرض الحار، تدفع الحرارة العالية المياه لأعلى ويصعد البخار الناتج مباشرة إلى الأثينوسفير الساخن الذى يعلو اللوح الهابط. وعندما يهبط اللوح المنغمس، فإنه يسحب صخور الأثينوسفير اللدن من أعلى إلى أسفل، وعندئذ تطفو صخور الأثينوسفير العميقة لأعلى لتحل محل الصخور الهابطة، ويقل الضغط عند ارتفاع هذه الصخور الحارة.

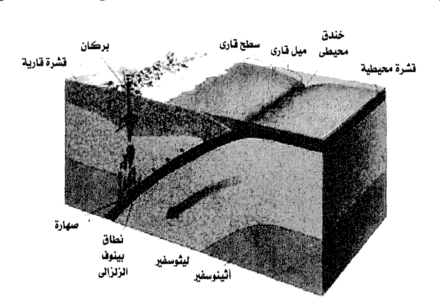
ويؤدى الاحتكاك الناتج عن حركة أحد الألواح فى اتجاه مضاد للوح آخر إلى تولد حرارة فى نطاقات الانغماس. وتعمل هذه الحرارة الإضافية مع زيادة المياه وانخفاض الضغط إلى انصهار مناطق أخرى من الأثينوسفير التى يغوص فيها اللوح المنغمس. ويعتبر زيادة المياه هو العامل المهم الذى يؤدى إلى تكوين الصهارة فى نطاقات انغماس الألواح الأرضية، أما الحرارة الناتجة عن الاحتكاك فهى عامل ثانوى.



شكل رقم (٢٠) تكوين الصهارة وانتشار وشاح الأرض.



شكل رقم (٢١) تكوين الصهارة وانطلاق بركان في نطاق اندساس لوح محيطى أسفل لوح محيطى.



شكل رقم (٢٢) تكوين الصهارة وانطلاق بركان في نطاق اندساس لوح قارى أسفل لوح محيطى.

وتعتبر البراكين من الظواهر المعتادة عند نطاقات انغماس الألواح الأرضية. مثل منطقة "حزام النار" التى تعد من مناطق النشاط البركانى الذى يحدد نطاقات الانغماس حول المحيط الهادى (الباسيفى)، ويقع فيها حوالى ٧٥٪ من البراكين النشيطة الموجودة على يابسة الأرض.

أنواع الصهارة Types of Magma

الصخر خليط من عدة المعادن، كل معدن له درجة انصهار تختلف عن درجة انصهار المعدن الآخر. وفى بداية التماثل الصهارى تنصهر المعادن ذات درجة الانصهار المنخفضة، بينما تظل المعادن الأخرى الأعلى فى درجة انصهارها فى حالة صلبة، وتسمى هذه الظاهرة "الانصهار الجزئى partial melting". وبالطبع عندما تكون درجة الحرارة أعلى من درجة انصهار كل المعادن المكونة للصخر فإن الصخر ينصهر بأكمله.

وتختلف الصهارة المتكونة تبعًا لتركيبها الكيميائى. وتوجد أنواع من الصهارة هى:

أ) **الصهارة البازلتية Basaltic Magma**: تنصهر فيها المعادن التى تكون السيليكا نسبة عالية من مكوناتها عند درجة حرارة أقل من غيرها من المعادن. وفى باطن الأرض، وعند مناطق من الأثينوسفير، تكون درجة الحرارة كافية لصهر المعادن التى تكون لها درجة انصهار أقل من غيرها مكونة صهارة غنية بالسيليكا. وتسمى الصهارة من هذا النوع "بالصهارة البازلتية". وتتكون هذه الصهارة غالبا نتيجة انصهار صخور البريدوتيت peridotite التى تحتوى على حوالى ٤٠٪ سيليكا عند درجة حرارة ١١٠٠° سلسية تقريبا. وعندما ترتفع صهارة البازلت نحو سطح الأرض، تترك صخور البريدوتيت المستنزفة السيليكا وراءها فى الأثينوسفير. وتتكون الصهارة البازلتية فى البيئات التى تشمل نطاقات انغماس الألواح الأرضية، ومناطق زهور وشاح الأرض فى أسفل القارات، ونطاقات التصدع القارية.

ب) **الصهارة الجرانيتية Granitic Magma**: تحتوى صخور الجرانيت على نسبة سيليكا أكثر من صخور البازلت؛ لذا فإنها تنصهر عند درجات حرارة منخفضة (٧٠٠° - ٩٠٠° سلسية). فى البيئات التكتونية فى أسفل القارات، تنصهر صخور الأثينوسفير مكونة صهارة بازلتية ترتفع فى صدوع وشقوق وفواصل القشرة القارية. وتعمل كميات صغيرة من الصهارة البازلتية على صهر كميات كبيرة من القشرة القارية مكونة "الصهارة الجرانيتية". ترتفع الصهارة الجرانيتية لمسافات قليلة فى القشرة القارية ثم تتصلب مكونة صخورا صلبة. وتتصلب عادة صخور الجرانيت عند أعماق بين ٥ و ٢٠ كيلومترًا تحت سطح الأرض.

ج) **الصهارة المتعادلة (الأنديزيتية):** تتكون الصخور النارية المتعادلة مثل الأنديزيت والديوريت من خلال عمليات مشابهة لتكوين الصهارة الجرانيتية. وتحتوى هذه الصهارة على قدر من السيليكا أقل من الجرانيت.

سلوك الصهارة

عندما تتكون الصهارة، فإنها ترتفع نحو سطح الأرض لقلة كثافتها عن الصخور المحيطة بها، وعند ارتفاعها فإنها تتأثر بعاملين مهمين: الأول منهما برودتها عندما تصل إلى مستويات قريبة من سطح الأرض وباردة من الأرض، وثانيهما انخفاض الضغط لقلة وزن الصخور التى تعلوها. وكما يتضح من الشكل رقم (١٨) فإن كلًّا من البرودة وانخفاض الضغط يكون لهما تأثيران متضادان على الصهارة، حيث تؤدى البرودة إلى تصلب الصهارة، أما انخفاض الضغط فإنه يؤدى إلى احتفاظ الصهارة بسيولتها.

ويعتمد تصلب الصهارة أو سيولتها، عندما ترتفع نحو سطح الأرض، على نوع الصهارة، فالصهارة البازلتية ترتفع عادة إلى سطح الأرض وتطفح من البراكين، على العكس من ذلك، تتصلب الصهارة الجرانيتية عادة فى داخل قشرة الأرض. وهذا السلوك المتباين لكل من صهارة البازلت وصهارة الجرانيت يرجع إلى الاختلاف فى تركيبهما الكيميائى. لأن الصهارة الجرانيتية تحتوى على حوالى ٧٠٪ سيليكا، بينما تصل مكونات السيليكا فى صهارة البازلت إلى ٥٠٪ فقط. إضافة إلى ذلك، فإن صهارة الجرانيت تحتوى عادة على حوالى ١٠٪ مياه، بينما تحتوى صهارة البازلت على ١-٢٪ مياه فقط. ولكل من نسبة السيليكا والمياه تأثيره المختلف على سلوك الصهارة.

أ) **تأثير السيليكا على سلوك الصهارة:** نظرًا للنسبة العالية للسيليكا فى صهارة الجرانيت مقارنة بمثيلتها فى صهارة البازلت، لذلك تكون لزوجة صهارة الجرانيت عالية عن لزوجة صهارة البازلت. ومن ثم ترتفع صهارة الجرانيت من باطن الأرض نحو سطحها ببطء تحت تأثير لزوجتها العالية.

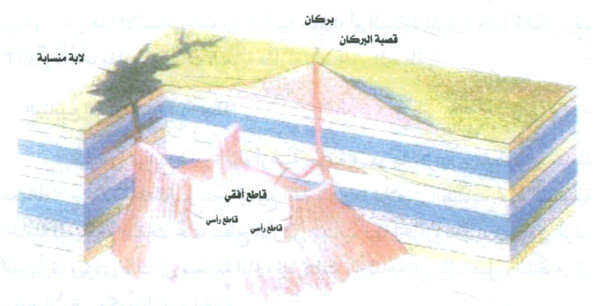
وتتصلب فى طبقة القشرة الأرضية تحت تأثير البرودة التى تصادفها. على العكس من ذلك، فإن صهارة البازلت، ذات اللزوجة الأقل، ترتفع بسرعة وتطفح على سطح الأرض وتنساب بسهولة.

ب) تأثير المياه فى سلوك الصهارة: تحتوى صهارة الجرانيت على نسبة ماء أكثر من صهارة البازلت، ويعمل الماء على خفض درجة الحرارة التى تتصلب عندها الصهارة. فلو أن صهارة الجرانيت الجافة تصلبت عند درجة ٧٠٠°سلسية، فإن صهارة الجرانيت التى تحتوى على ١٠٪ ماء تبقى فى حالة سيولة عند ٦٠٠° سلسية.

وعلى الرغم من انطلاق الماء من الصهارة فى هيئة بخار، إلا أنه فى أعماق قشرة الأرض، حيث تتكون صهارة الجرانيت، يمنع الضغط العالى الماء من التبخر والانطلاق من الصهارة. وعندما ترتفع الصهارة إلى أعلى، ينخفض الضغط وينطلق الماء من الصهارة على هيئة أبخرة، وترتفع درجة حرارة تصلب الصهارة وتتبلور. لذا فإن فقدان صهارة الجرانيت نتيجة ما بها من ماء يؤدى إلى تصلبها فى قشرة الأرض.

ونظرا لأن صهارة البازلت تحتوى فقط على ١ - ٢٪ ماء، فإن فقدان ماء منها يكون غير مؤثر نسبيًا؛ لذا فإن صهارة البازلت تبقى دائمًا فى حالة سيولة طوال حركتها إلى سطح الأرض، ولذلك فإن البراكين البازلتية هى أكثر أنواع البراكين شيوعًا.

الكتل العميقة Plutons



شكل رقم (٢٣) كتلة كبيرة من الصهارة المتصلدة فى الأرض، بعض الصهارة يرتفع إلى سطح الأرض مكونًا البراكين.

فى كثير من الحالات تتصلب الصهارة الجرانيتية فى قشرة الأرض مكونة كتلا صخرية من الجرانيت (شكل رقم ٢٣)، ويصل قطر هذه الكتل فى بعض الحالات إلى عشرات الكيلومترات.

تتكون صهارة الجرانيت بالقرب من قاعدة القشرة القارية، حيث تكون الصخور المحيطة ساخنة ولدنة. وعندما ترتفع صهارة الجرانيت إلى أعلى، فإنها تدفع الصخور اللدنة المحيطة جانبًا. بعد ارتفاع الصهارة ترتد الصخور اللدنة المحيطة ببطء لتملأ الفراغ الناتج عن ارتفاع الصهارة.

بعد تكون هذه الكتل الصخرية الضخمة، يمكن للقوى التكتونية أن تدفعها لأعلى بالقرب من سطح الأرض، وتؤدى عوامل التعرية إلى كشف أجزاء منها وظهورها على سطح الأرض. وتصل مكاشف هذه الكتل الصخرية على سطح الأرض، فى بعض الأحيان، إلى ١٠٠ كيلومتر مربع، ويتراوح سمكها بين ١٠ و٢٠ كيلومترًا.

وعند تكوين كتل الصهارة الضخمة التى تدفع الصخور المحيطة بها جانبًا، فقد تنساب كتلٌ صغيرة من الصهارة فى شقوق وفواصل الصخور المجاورة أو بين طبقاتها. ويتكون عن هذا الانسياب السدود الرأسية dikes أو السدود الموازية sills (شكل رقم ٢٣)، وكلاهما مقاوم لعمليات التعرية مقارنة بالصخور المحيطة.

الينابيع الحارة Hot Springs

تنبعث من الينابيع الحارة مياه أرضية جوفية فى درجة حرارة مرتفعة نسبيا حاملة معها أملاح معدنية مختلفة. وتنتج الينابيع الحارة عندما تتلاصق الطبقات تحت السطحية الحاملة للمياه مع طبقات تحت سطح الأرض تنساب فيها الحرارة بسبب قربها من غرف الصهارة. ويؤدى ذلك إلى سخونة الماء وقلة كثافته وارتفاعه عبر الفواصل والشقوق إلى سطح الأرض مكونًا الينابيع الحارة.

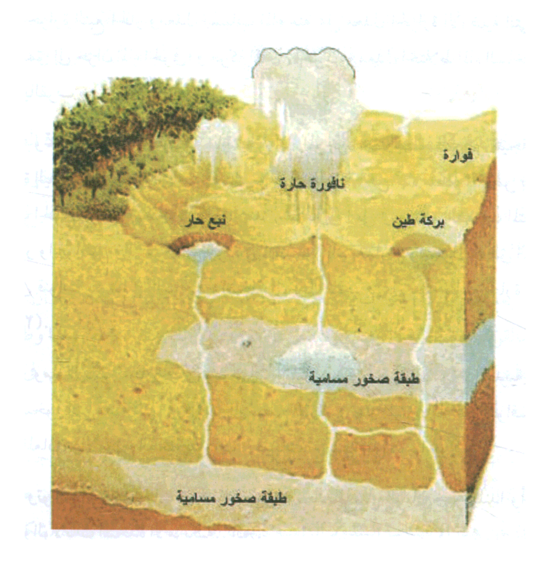
وتوجد الينابيع الحارة فى عديد من مناطق النشاط البركانى على امتداد الكرة الأرضية، وتعتبر علامة واضحة على وجود نشاط بركانى تحت سطح الأرض. وتعتمد

درجة حرارة النبع الحار ومعدل انسياب الماء منه على معدل الحرارة الأرضية التى تصل من العمق إلى خزان الماء الجوفى، وحركة الماء فى الخزان، ومعدل اختلاط الماء الساخن بالماء البارد بالقرب من سطح الأرض.

وتحدث الينابيع الحارة عندما يسخن الماء الموجود تحت سطح الأرض نتيجة انتقال الحرارة إليه من الصخور الساخنة أسفله، وتحرك الماء الساخن تجاه سطح الأرض بواسطة تيارات الحمل. ويتسرب الماء الساخن عند ارتفاعه إلى أعلى فى مناطق الضعف المتمثلة فى الكسور والفواصل والشقوق الموجودة فى الصخور التى تعلوه. وتتحول مناطق الضعف هذه إلى قنوات تقود الماء الساخن والبخار إلى أعلى لتخرج على هيئة ينابيع حارة (شكل رقم ٢٤).

وماء الينابيع الحارة قد يكون صافيًا ونقيًّا أو يكون غنيًّا بالأملاح المعدنية الذائبة من الصخور التى يمر عليها فى طريقه إلى سطح الأرض. عندما يبرد الماء على حواف النبع، تكون المعادن والأملاح الذائبة بلورات وحبيبات تترسب على هذه الحواف.

وتوجد الينابيع الحارة فى عديد من بلدان العالم مثل اليابان ونيوزيلندا وأيسلندا وكينيا والولايات المتحدة الأمريكية.. إلخ.



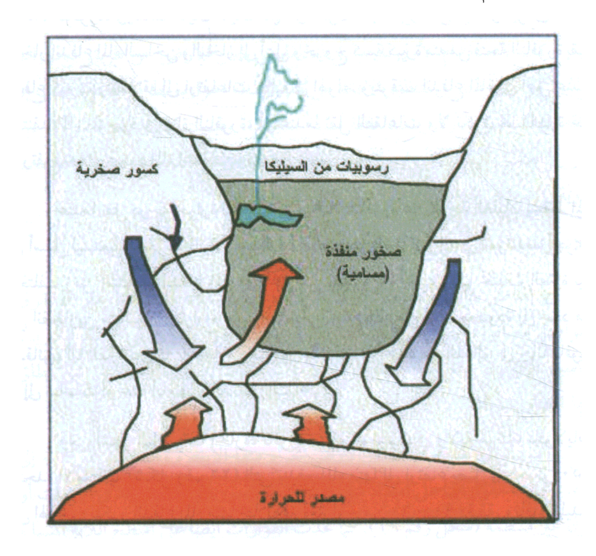
شكل رقم (٢٤) مجسم يوضح الظواهر الطبيعية المصاحبة للنشاط البركانى.

النافورات الحارة Geysers

النافورات الحارة من الظواهر الطبيعية الفريدة، حيث يندفع الماء والبخار من فتحة فى سطح الأرض إلى أعلى فى الهواء على شكل نافورات تصل إلى ارتفاعات عالية ويتكرر انفجارها على فترات منتظمة بصورة دورية متكررة.

وتوجد النافورات فى عدد من أماكن سطح الكرة الأرضية، حيث يوجد منها حوالى ١٠٠٠ على مستوى العالم، نصفها يقع فى عدد من مناطق الولايات المتحدة

الأمريكية، والباقى منها فى روسيا وشيلى ونيوزيلندا وأيسلندا. ويرجع قلة عدد النافورات، التى هى نوع خاص من الينابيع الحارة، إلى ما يتطلبه تكوينها من ظروف خاصة تختلف عن ظروف تكوين الينابيع الحارة. وتختلف النافورات الحارة فى بنيتها تحت الأرض عن الينابيع الحارة، حيث يتكون العديد منها من فتحة صغيرة على سطح الأرض تتصل بقناة ضيقة أو أكثر تمتد لأسفل إلى خزان الماء الساخن تحت سطح الأرض (الأشكال أرقام ٢٤ و ٢٥).



شكل رقم (٢٥) مقطع عرضى فى منطقة إحدى النافورات الحارة.

فى حالة النافورات الحارة، إذا كانت بنية القنوات التى تنقل الماء الساخن على درجة من الضيق يمنع الماء الساخن من الحركة بحرية إلى سطح الأرض وفقدان درجة حرارته،

يزداد الماء بالقرب من أسفل هذه القنوات سخونة، وقد تتعدى درجة حرارته درجة غليان الماء عند سطح الأرض. إلا أنه نظرًا للزيادة الكبيرة فى الضغط الناتج عن الوزن الكبير للماء أعلاها فإن الماء الساخن فى هذه القنوات لا يتحول إلى بخار. عندئذ ترتفع فقاعات البخار المتكونة بالقرب من سطح الأرض إلى أعلى وتتمدد كلما زاد اقترابها من سطح الأرض مكونة فقاعات أكبر حجما ويمر العديد منها من فتحة النافورة الضيق ويطفح الماء الساخن منها ويتناثر حولها. يؤدى فيض الماء والبخار إلى قلة وزن عمود الماء وبالتالى قلة الضغط فى قناة النافورة، ويحدث غليان عنيف للماء وتتكون كمية كبيرة من البخار. يؤدى ضغط البخار اندفاع الماء الساخن والبخار إلى أعلى وخروج كمية كبيرة منه من فتحة النافورة بقوة اندفاع كبيرة، وانطلاقه إلى ارتفاعات عالية فى الهواء. ويتوقف اندفاع الماء إلى أعلى عندما يستنفد الماء الموجود فى قناة النافورة، أو عندما تقل الفقاعات ولا تكون لها القدرة على الارتفاع خلال عمود الماء الساخن ودفعه إلى أعلى.

عندما تقل درجة حرارة الماء المتبقى فى قناة النافورة عن درجة الغليان يسقط الماء إلى أسفل ليستعيد سخونته ثانية بواسطة تيارات الحمل، وتتكرر الدورة مرة بعد أخرى. ويختلف زمن استمرار اندفاع الماء إلى أعلى من نافورة إلى أخرى، كما تختلف الفترة بين كل انفجارين متتاليين. ويتراوح زمن استمرار اندفاع الماء من ثوان معدودة إلى عدد من الدقائق، أما الفترة بين كل انفجارين متتاليين فقد تمتد من عدد من الدقائق فى حالة نافورة ما إلى ساعات أو عدة أيام فى حالة نافورات أخرى.

ومن أشهر النافورات الحارة، نافورة متنزه يلوستون فى ولاية مونتانا بالولايات المتحدة الأمريكية (شكل رقم ٢٦) التى يندفع الماء منها إلى ارتفاع يصل إلى حوالى ٥٠ م فى الهواء، ويتكرر اندفاع الماء منها خلال فترة تتراوح من ٦٠ - ٩٠ دقيقة. ونافورة ليدى نوكس فى أيسلندا (شكل رقم ٢٧).

وتعتبر نافورة وايمانجو فى نيوزيلندا أطول نافورة حارة سجلت على امتداد الكرة الأرضية، حيث بلغ ارتفاع الماء المنطلق منها فى الهواء أكثر من ٤٩٠م، إلا أن هذه النافورة دمرت عام ١٩٠٢م بسبب انهيار أرضى أثر فى بنيتها ولم تعد تثور منذ هذا التاريخ.

ويوضح الشكل (٢٨) ثلاث صور متتابعة لانفجار نافورة ستروكر الحارة فى أيسلندا.

وكان الاستخدام الأول للحرارة المنطلقة من باطن الأرض عن طريق النافورات الساخنة هو بداية الطريق لتنظيم الإفادة من هذه الطاقة الحرارية بطرق أفضل، حيث إن الطاقة المنطلقة من الأرض تعد طاقة نظيفة متجددة، وليست ملوثة للبيئة مثل الوقود الحفرى (الفحم والبترول)، وليست لها الأخطار المحتملة مثل الطاقة المتولدة عن المحطات النووية.

الفوارات (الأبخرة البركانية) Fumaroles

فى المناطق ذات الطبيعة البركانية يختلط بخار الماء المتصاعد عبر الشقوق والفواصل مع أنواع أخرى من الغازات مثل كبريتيد الهيدروجين وثانى أكسيد الكبريت وأكاسيد الكربون وغازات الكلورين والأمونيا مكونا الأبخرة البركانية التى يطلق عليها الفوارات.

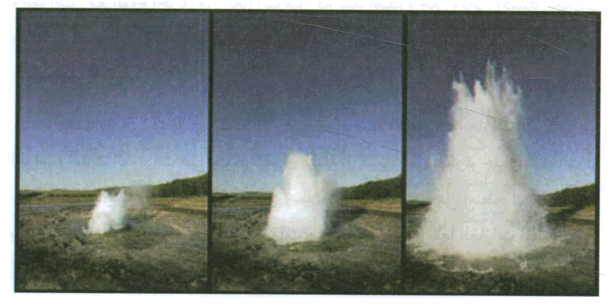
والفوارة هى فتحة فى سطح الأرض تخرج منها الأبخرة والغازات البركانية إلى الهواء. وتحدث الفوارات على امتداد شقوق دقيقة أو كسور طولية، وتوجد فى تجمعات أو حقول غير منتظمة (شكل رقم ٢٩). كما تحدث الفوارات أيضًا على أسطح اللابة المنسابة بسبب انخفاض حرارتها وحدوث تشققات صغيرة بها تنطلق منها الغازات المصاحبة لها إلى الهواء.



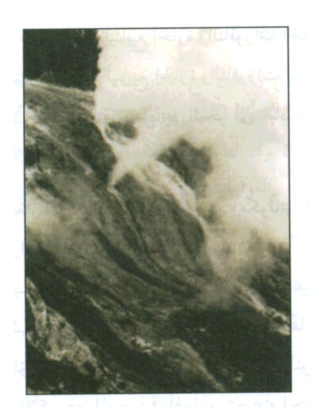
شكل رقم (٢٦) نافورة منتزه يلوستون في مونتانا بالولايات المتحدة الأمريكية (يندفع الماء الحار إلى ارتفاع يصل نحو ٥٠ م في الهواء)



شكل رقم (٢٧) نافورة ليدى نوكس فى أيسلندا



شكل رقم (٢٨) ثلاث صور متتابعة توضح انفجار نافورة ستروكر فى أيسلندا



شكل رقم (٢٩) تجمع الفوارات على جانبى مرتفع
فى منتزه يلوستون- مونتانا- الولايات المتحدة الامريكية.



شكل رقم (٣٠) فوارة كبريتية.

والفوارات أكثر سخونة من الينابيع الحارة والنافورات الحارة وينطلق منها بخار الماء والغازات فقط، بينما يخرج من الينابيع الحارة والنافورات الماء وبخار الماء. ويرجع ذلك إلى أن الحرارة الأرضية العالية تعمل على تبخر أى مياه أرضية تدخل فى نطاق الفوارات.

وتتباين كمية الغازات المنطلقة من الفوارات ومكوناتها الغازية من فوارة إلى أخرى. وتسمى الفوارات عادة "المنافذ الكبريتية solfataras" عندما يكون البخار مشبعًا بمركبات الكبريت مثل ثانى أكسيد الكبريت وكبريتيد الهيدروجين، وهو النوع الشائع من الفوارات (شكل رقم ٣٠). ويسمى النوع الأقل شيوعًا منها "المنافذ الكربونية moffette" عندما ينطلق ثانى أكسيد الكربون مع البخار. فى النوع الأول منها يتفاعل كبريتيد الهيدروجين مع الأكسجين الموجود فى الهواء وينتج عنهما حامض الكبريتيك الذى يتحول بدوره إلى كبريت يترسب حول الفوارات ويظهر على شكل رسوبيات صفراء. وفى النوع الثانى يشكل انطلاق ثانى أكسيد الكربون إلى الهواء بكميات كبيرة خطورة على صحة الإنسان والحيوان ويلزم الحيطة منه.

وتوجد الفوارات فى عديد من المناطق البركانية المنتشرة على امتداد الكرة الأرضية مثل أيسلندا ونيوزيلندا واليابان والولايات المتحدة الأمريكية.. إلخ. والفوارات يمكن لها أن تكون ظاهرة قصيرة المدى أو طويلة المدى يتراوح مداها من أسابيع إلى مئات السنين، حيث يمكن أن يستمر نشاط الفوارات عشرات أو مئات السنين إذا ما وجدت أعلى مصدر حرارى دائم تحت سطح الأرض أو تختفى خلال أسابيع أو شهور إذا ما كانت مصاحبة لانسياب اللابة.

ومن أشهر مناطق تجمعات الفوارات وادى شهير فى منطقة نوفارتيا بالاسكا، يضم عشرة آلاف فوارة. كما يوجد أربعة آلاف فوارة على حدود متنزه يلوستون فى وايومنج بالولايات المتحدة الأمريكية.

عندما يختلط الرمل والطين مع بخار الماء والغازات البركانية المتصاعدة عبر الفواصل والشقوق يحدث انثيال للرمال والصخور وتراب الصخور، مكونا ما يسمى بالبراكين الطينية. وتتكون برك الطين عادة عندما يرتفع مستوى المياه الجوفية فى مناطق الينابيع الحارة والنافورات والفوارات.



الفصـل الثالث

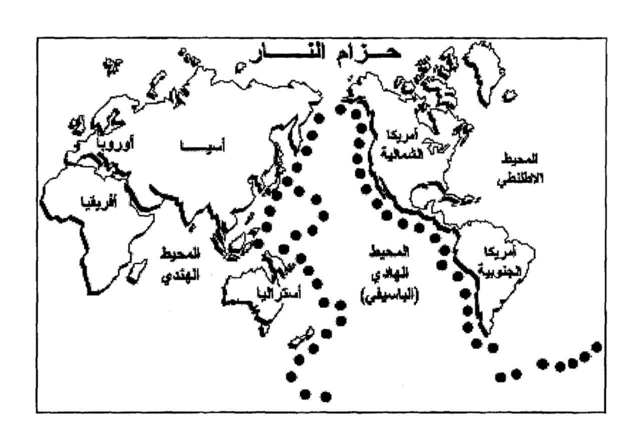
طبيعة مصادر الحرارة الأرضية



طبيعة مصادر الحرارة الأرضية

أوضحت دراسات الانسياب الحرارى ازدياد درجة الحرارة فى قشرة الأرض مع زيادة العمق تحت سطح الأرض. ويصل معدل الانسياب الحرارى عند الأعماق التى أمكن الحفر إليها باستخدام التقنيات الحديثة (< ١٠,٠٠٠م) حوالى ٢,٥° -٣,٠° سلسية / ١٠٠م. أى أنه إذا كانت الحرارة عند عمق أمتار قليلة من سطح الأرض حوالى ١٥° سلسية، فإن درجة الحرارة عند عمق ٢٠٠٠م تكون حوالى ٦٥° - ٧٥° سلسية، وعند عمق ٣٠٠٠م حوالى ٩٠° - ١٠٥° سلسية.... وهكذا حتى تصل الحرارة إلى حوالى ٧٠٠٠° سلسية فى لب الأرض. والمصدر الرئيس لهذه الحرارة الأرضية هو انسياب الحرارة من باطن الأرض الملتهب إلى أعلى باتجاه سطحها. وهناك مناطق فى باطن الأرض يتعدى عندها الانسياب الحرارى القيمة المتوسطة، حيث يكون الانسياب الحرارى أكثر بعشرات المرات من هذه القيمة، وتمثل هذه المناطق أهم مصادر حرارة الأرض. كما أنه توجد مناطق أخرى يكون الانسياب الحرارى عندها أقل من ١° سلسية، وبخاصة مناطق الأحواض الرسوبية.

وتوجد معظم مصادر حرارة الأرض النشيطة عادة على امتداد حدود الألواح التكتونية الكبيرة المشكلة للقشرة الأرضية والليثوسفير، خاصة منها التى يتركز عندها النشاط الزلزالى والبركانى. ويحدث معظم النشاط الحرارى على مستوى العالم فى المناطق المعروفة باسم "حلقة النار "وهى المنطقة التى تطل على المحيط الهادى (الباسيفى) وتضم اليابان والفلبين ونيوزيلندا وإندونيسيا والسواحل الغربية لأمريكا الشمالية وأمريكا الجنوبية.. إلخ (شكل رقم ٣١).

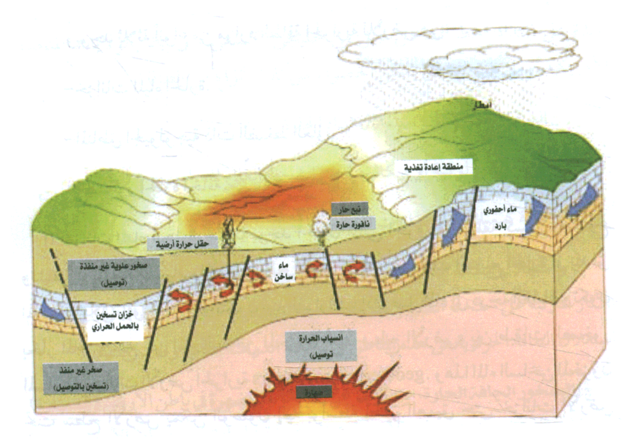


شكل رقم (٣١) مناطق النشاط الحرارى حول المحيط الهادى.

منظومة حرارة الأرض:

تنتقل الحرارة باستمرار من وشاح الأرض إلى القشرة التى تعلوها، وأيضًا تتولد الحرارة فى القشرة نتيجة للاضمحلال الطبيعى للعناصر المشعة الموجودة فى صخورها. وعندما تتلامس الطبقات الحاملة للماء الجوفى مع هذه الحرارة فإنها تسخن، وقد تصل الحرارة فى بعض الأحيان إلى أكثر من ٣٥٠° سلسية. وفى بعض مناطق الكرة الأرضية، خاصة مناطق حدود الألواح التكتونية، تكون الطبقات الحاملة للماء الجوفى الساخن قريبة من سطح الأرض، بحيث يمكن استغلالها. لذا فإن منظومة الحرارة الأرضية توصف على أنها: "تسخين الماء بالحمل الحرارى فى الأجزاء العليا من قشرة الأرض". وعليه تنقسم منظومة الحرارة الأرضية إلى ثلاثة عناصر رئيسة هى: المصدر الحرارى – الخزان المائى الجوفى – المياه. والأخير هو الوسط الذى ينقل الحرارة. والمصدر الحرارى يمكن أن يكون صهارة ذات درجة حرارة عالية (> ٦٠٠° سلسية)، ارتفعت إلى أعماق ضحلة نسبيا (٥ – ١٠ كم)، كما فى منظومة الحرارة الأرضية التى تزداد فيها درجة الحرارة بزيادة العمق.

أما الخزان المائى الجوفى فهو طبقة من الصخور المسامية الساخنة التى لها درجة نفاذية عالية تمكن المياه من اكتساب الحرارة ونقلها (شكل رقم ٣٢). ويعلو الخزان المائى الجوفى عادة صخورا غير منفذة ويكون الخزان متصلا بمنطقة تغذية سطحية تمكن من الإحلال الكامل أو الجزئى للمياه التى تخرج من الخزان فى صورة ينابيع حارة أو نافورات حارة أو فوارات أرضية، أو تسحب من الآبار المحفورة للاستخدامات المختلفة. وتحمل الماء بعض العناصر الكيميائية والغازات غالبا.



شكل رقم (٣٢) نموذج يوضح نمط نشأة وتوزيع الحرارة الأرضية.

وتعتمد ميكانيكية منظومة الحرارة الأرضية على تيارات الحمل التى تحدث نتيجة التمدد الحرارى للمياه ضد مجال التثاقلية الأرضية، حيث إن الحرارة التى يكتسبها الماء هى الطاقة التى تؤثر فى المنظومة. والماء الذى يكتسب الحرارة تقل كثافته فيرتفع ليحل محل الماء البارد عالى الكثافة، لذا تعمل تيارات الحمل على زيادة درجة الحرارة فى المناطق العليا من الخزان المائى الجوفى وتقل درجة الحرارة فى الأجزاء السفلى منه.

وقد يكون مصدر الطاقة الحرارية قريبا من سطح الأرض، أى يكون عند أعماق ضحلة لا تتعدى ١٠٠ متر تقريبا، وهذه الحرارة الأرضية يمكن استغلالها فى التدفئة المنزلية والصوبات الزراعية، وتجفيف المحاصيل الزراعية وتجهيز الأغذية، وكذلك يمكن الإفادة منها فى تقطير الإيثانول لاستعماله وقودا بديلا. ومن الجدير بالذكر أن الاستخدام الأمثل لطاقة الأرض الحرارية يكون بالإفادة من المصادر الحرارية الموجودة عند أعماق كبيرة من باطن الأرض.

ويوجد ثلاثة أنواع من موارد الطاقة الحرارية للأرض هى:

- خزانات المياه الحارة.
- المناطق الجيولوجية ذات الضغط العالى.
- الصخور الحارة الجافة.

أ) **خزانات المياه الحارة:** عندما يوجد الخزان المائى الجوفى فى منطقة كسور وصدوع وتشققات تسمح بانسياب الماء إلى سطح الأرض، تنتج عن ذلك الينابيع الحارة أو يتدفق الماء على شكل نافورة حارة أو تتكون عنه الفوارات، إذا وصل الماء إلى درجة الغليان وتكون بخار الماء. وينتج عن الماء الساخن المخزون تحت سطح الأرض، بين طبقات الصخور المسامية، خزانات الأرض الحرارية geothermal reservoirs. وهذا الماء الساخن المخزون تحت سطح الأرض يمكن الوصول إليه بواسطة الحفر العميق حتى خزانات الأرض الحرارية، ويتم نقل الماء الساخن والبخار إلى سطح الأرض خلال أنابيب. وهذا الماء الساخن المخزون تحت سطح الأرض هو الجزء الأكبر الأهم من حرارة الأرض.

والمصدر الحرارى هو العنصر الوحيد الذى يلزم أن يكون طبيعيا من كل عناصر منظومة حرارة الأرض. حيث إنه فى ظروف أخرى يمكن أن يكون العنصران الأخيران اصطناعيين. فمثلا، الماء الساخن المستخرج من الخزان المائى الجوفى لبعض الاستخدامات، يمكن بعد الإفادة منه إعادة حقنه فى الخزان الجوفى مرة أخرى من خلال آبار حقن خاصة، وبهذه الطريقة يمكن إعادة تغذية الخزان الجوفى بوسيلة اصطناعية. وترجع أهمية إعادة

حقن الماء المستخدم إلى الخزان الجوفى مرة أخرى إلى ضمان استمرار سحب المياه الساخنة واستغلال خزانات المياه الجوفية غير المشحونة بالمياه، وكذلك التقليل من الآثار الجانبية للاستغلال المفرط للمياه وخطورته على البيئة.

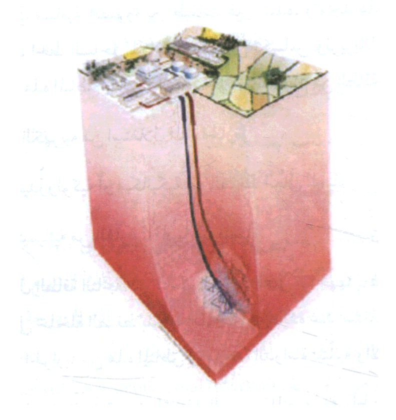
ب) **المناطق الجيولوجية ذات الضغط العالى:** هى مناطق ذات درجة حرارة عالية، وهى خزانات مياه ذات ضغط عالٍ، وتكون هذه المياه مشبعة بالغازات، وموجودة فى مصائد فى طبقات مسامية محصورة بين طبقات غير منفذة. وتوجد هذه المناطق فى صورة جيدة على امتداد الخط الساحلى لكل من خليجى تكساس ولويزيانا بالولايات المتحدة الأمريكية. ومن هذه المناطق يمكن الحصول على ثلاثة أنواع من الطاقة:

- الطاقة الكهربية من استغلال المياه الحارة.
- طاقة هيدرولوكية أو ميكانيكية من الضغط العالى للمياه.
- طاقة كيميائية من الغازات المصاحبة للمياه.

واستغلال الطاقة الناتجة من مناطق الضغط العالى تواجهها بعض الصعوبات نظرًا للآثار المترتبة على خلخلة الضغط بدرجة مفاجئة أو شديدة عند استغلالها؛ لذلك لا يزال استغلال الطاقة الحرارية من هذه المناطق فى مرحلة الدراسة المتأنية والاستكشاف.

ج) **الصخور الجافة الحارة:** عندما تتوغل الصخور المنصهرة فى باطن الأرض (الصهارة) فى طبقات الصخور تحت سطح الأرض، ترتفع درجة الحرارة تحت سطح الأرض بدرجة كبيرة مما يجعلها شبة منصهرة، لذلك تعد صخورًا حارة جافة hot dry rock، وهذا يجعلها مصدرًا حراريًّا طبيعيًّا. ويمكن الإفادة من الصخور الحارة الجافة من خلال استحداث خزان جوفى اصطناعى وحقن المياه فيه. وفى هذه الحالة يتم دفع الماء البارد تحت ضغط عال من خلال آبار خاصة إلى مناطق الصخور العميقة الساخنة. ويؤدى هذا الحقن إلى حدوث تمزقات صخرية تنفذ المياه إليها وتكتسب الحرارة من الصخور المحيطة، فيتكون خزان مائى جوفى اصطناعيًّا يعمل كالخزان الطبيعى. ويتم اختراق الخزان المائى الجوفى الاصطناعى ببئر ثانية تستخدم لسحب الماء الساخن. ويمكن أن يكون النظام الذى يضم

بئر حقن الماء البارد المضغوط والخزان المائى الجوفى الاصطناعى وبئر سحب الماء الساخن مع محطات الاستخدام المختلفة على سطح الأرض، حلقة مغلقة (شكل رقم ٣٣). وقد أجريت تجارب على هذه المنظومة فى الولايات المتحدة الأمريكية وأستراليا وفرنسا وألمانيا والمملكة المتحدة واليابان وغيرها. وتم حفر آبار لهذا الغرض بلغ عمق الواحد منها أكثر من ٥٠٠٠ م تحت سطح الأرض.



شكل رقم (٣٣) نموذج يوضح كيفية استغلال الصخور الجافة الساخنة.

تصنيف مصادر حرارة الأرض:

تصنف مصادر حرارة الأرض على أساس قدر الطاقة الحرارية للمائع الذى يعمل كوسط لنقل الحرارة من الصخور العميقة الساخنة إلى سطح الأرض، كذلك فإن الأشكال والصور المتعددة لاستخدام هذه الطاقة تعد من أهم معايير التصنيف. لذا تصنف خزانات الأرض الحرارية إلى خزانات منخفضة الحرارة (< ٩٠ْسلسية) وخزانات متوسطة الحرارة (٩٠ْ إلى ١٥٠ْسلسية) وخزانات عالية الحرارة (> ١٥٠ْسلسية)، وكل صنف منها له استخداماته.

ومنظومة الحرارة الأرضية التى تتردد درجة حرارتها بين ١٢٥ْ سلسية و٢٢٥ْ سلسية هى الأكثر شيوعا وانتشارا بين حقول حرارة الأرض على مستوى العالم. وتعمل ظروف الحرارة والضغط فى خزانات الأرض الحرارية على تكون الماء الساخن أو خليط من الماء الساخن والبخار أو البخار المشبع بالمياه فى هذه الخزانات، وفى بعض الحالات يتكون بخار الماء الجاف، وهذا النوع هو الأقل شيوعا وانتشارا على مستوى العالم.

وتصنف مصادر حرارة الأرض على أساس حالة اتزان الخزان المائى الجوفى، وحينئذ يؤخذ فى الاعتبار دورة المياه فى الخزان وميكانيكية انتقال الحرارة. ففى المنظومة الديناميكية يغذى الخزان بالمياه بصفة مستمرة ليكتسب الحرارة وتنتقل الحرارة من خلال تيارات الحمل. ويشمل هذا النوع كافة أنواع الخزانات الجوفية الحرارية سواء منها عالية الحرارة أو متوسطة الحرارة ومنخفضة الحرارة أيضًا. وفى المنظومة الاستاتيكية، تكون تغذية الخزان الجوفى بالمياه قليلة أو معدومة وتنتقل الحرارة بواسطة التوصيل فقط. ويشمل هذا النوع بعض الخزانات الجوفية الحرارية منخفضة الحرارة فقط.

وتوصف طاقة الأرض الحرارية عادة بأنها متجددة renewable أو مستدامة sustainable وكلمة متجددة هى خاصية لمصدر الطاقة أما مستدامة فتعنى كيفية استخدام المصدر. والعنصر الرئيس فى تصنيف طاقة الأرض الحرارية كمصدر طاقة متجدد هو معدل تغذية الخزان الجوفى وحركة المياه الساخنة فى وقت استغلال المصدر. وعناصر تصنيف طاقة الحرارة الأرضية كمصدر مستدام للطاقة تعتمد على كميتها الأولية ومعدل تولدها ومعدل استهلاكها. وأى مصدر للطاقة من هذا النوع لا يمكن بقاؤه للأبد، لكن يلزم البحث عن مصدر آخر بديلا قبل استنفاد المصدر الموجود أو المحافظة على معدل استخدام للمصدر يساعد على استمراره.

الكشف عن مصادر حرارة الأرض

تستخدم طرق عديدة للكشف عن مصادر حرارة الأرض، ومن هذه الطرق: تحليل الصور الجوية والخرائط الجيولوجية، والتحليل الكيميائى لمصادر المياه الجوفية وتركيز المعادن فى التربة، وقياس التغير فى حقول التثاقلية الأرضية والمغنطيسية الأرضية، والجس السيزمى

والرادارى، والكهربية الأرضية. ويعتبر حفر الآبار الاستكشافية هو الوسيلة الوحيدة لقياس معدل الانسياب الحرارى تحت سطح الأرض والتأكد من وجود مصدر حرارى أرضى وخزان مائى جوفى اقتصادى. من بعض الآبار المحفورة تنساب المياه الساخنة والبخار بطريقة طبيعية عبر البئر إلى سطح الأرض تحت ضغط بخار الماء، وفى حالة المياه الأقل سخونة يلزم استخدام مضخات لسحب الماء الساخن من الآبار.

الفصــل الرابع
استغلال مصادر طاقة الأرض الحرارية



استغلال مصادر طاقة الأرض الحرارية

الأنظمة الحرمائية

يتكون النظام الحرمائى من بخار ماء أو ماء ساخن فى خزانات تحت سطحية هى الصخور المسامية أو المتشتتة، وكذلك فى الرواسب الموجودة أسفل طبقات غير منفذة. والبخار الجاف هو النظام الحرمائى المفضل عند توليد الكهرباء، لكنه نادر الوجود نسبيا، وفى حالة وجوده يتم إمرار البخار على شبكات تصفية، ثم يمرر بعدها على توربينات لتوليد الكهرباء، مثل المحطات الموجودة فى محطات شمال ولاية كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية وفى أيسلندا.

أما خزانات المياه الحارة التى تعد أكثر انتشارا نسبيا، فهى تنتج مزيجا من بخار الماء والمواد الصلبة الذائبة فى الماء، وتكون درجة حرارة خزانات المياه الحارة معتدلة وليست عالية، لكن استغلالها يكون بسيطا وأكثر شيوعا. مثال ذلك خزان المياه الحارة الكبير الموجود خلف وادى إمبريال بجنوب كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية. ويمكن استغلال المياه الحرارية فى توليد الكهرباء ثم بعد ذلك فى إنشاء مزارع سمكية وزراعة فطر عش الغراب، وفى كل الاستعمالات المنزلية تقريبا. مثال ذلك خزان المياه الحار فى ولاية نيفادا بالولايات المتحدة الأمريكية.

ويلاحظ أنه فى أثناء استخراج الحرارة الأرضية من الخزانات الحرمائية تنطلق مجموعة من الغازات فى الغلاف الجوى، ومن أهم هذه الغازات التى تنطلق غاز كبريتيد الهيدروجين السام حال تركيزه عاليا. لذلك تستخدم وحدات خاصة لإزالة غاز كبريتيد الهيدروجين. كذلك تنطلق غازات ثانى أكسيد الكربون والميثان والأمونيا وغازات تحتوى على الزرنيخ والزئبق إضافة إلى انطلاق غازات الرادون والبورون، التى قد تتسبب فى أضرار للمزروعات والإنسان. وفى حالة انطلاق غاز الميثان بكميات كبيرة يمكن استغلاله تجاريا.

ويلاحظ فى الأنظمة الحرمائية، حدوث مشكلة بيئية، هى تلوث مياه السطح والمياه الجوفية من فائض البخار المتكثف عند صرفه فى البرك والجداول فيؤدى إلى أضرار فى الحياة المائية وقد تم التغلب على هذه المشكلة فى وادى إمبريال بالولايات المتحدة الأمريكية بإعادة حقن فائض البخار المتكثف فى الخزانات مرة أخرى، ليعمل على تنمية هذه الأنظمة الحرارية.

وكثير من خزانات المياه الحارة تكون عذبة ونقية بالدرجة يمكن معها استخدام هذه المياه فى أغراض الشرب وفى تجفيف الخضروات وتجهيز المواد الغذائية فى مراحل تصنيعها.

وتجدر الإشارة إلى أنه فى مناطق الضغط العالى، يكون الضغط العالى ودرجة الحرارة العالية نسبيا عائقا فى حقن المياه والغازات المتكثفة وأمرا صعبا، وبالتالى تصبح العملية غير مجدية اقتصاديا، لذلك يتم صرف المياه المتكثفة عن البخار فى خزانات المياه الجوفية المالحة.

ويؤدى سحب المياه الحرارية (الحرمائية) من باطن الأرض إلى خلق عدم اتزان فى مناطق سحب المياه، وقد يؤدى ذلك إلى هبوط الأرض. وقد ارتبطت هذه المشكلة البيئية بحفر آبار المياه الجوفية والأنفاق وتنمية حقول النفط وعمليات التعدين. لذلك لابد أن تكون هناك دراسات جيولوجية وتحركات الأرض واحتياطات مناسبة عند عمليات سحب المياه من باطن الأرض. وقد تلاحظ أنه لم يسجل حتى الآن هبوط للأرض خلال تنمية المواقع الحرمائية القائمة على البخار فى مناطق المثالج. أما فى منطقة لارديرلو فى إيطاليا فقد كان السبب فى الهبوط الذى حدث فى المنطقة هو البنيات الجيولوجية التى توجد فيها الأنظمة الحرمائية. وفى منطقة دايراكن فى نيوزيلندا، أدى سحب المياه الحرارية إلى هبوط أرضى يبلغ ثلاثة أقدام كل عام. وفى وادى إمبريال فى الولايات المتحدة الأمريكية أدى هبوط الأرض المصاحب لاستغلال المياه الساخنة من باطن الأرض إلى تعطيل تدفق الرى بالجاذبية وخلل فى نظام الصرف فى هذه المنطقة كثيفة الانتاج الزراعى، لكن الدراسات العلمية عالجت هذه المشكلة بإعادة حقن المحاليل فى خزان المياه الساخنة والصخور التى تحتويه مما قلل من الهبوط تقريبا. حيث إن استمرار عملية هبوط الصخور قد يؤدى فى النهاية إلى غمرها المباشر بالمياه.

وقد سجل حدوث هزات أرضية بسيطة (زلازل ضعيفة) نتيجة إعادة حقن المياه المتكثفة عن البخار فى خزانات المياه الجوفية الساخنة والصخور التى تضمها، لكن هذه الهزات لم يشعر بها الإنسان وسجلتها أجهزة الرصد فقط.

وقد نتج عن عملية خروج البخار من أماكن الضغط العالى أصواتا مسموعة بشدة وخاصة إذا ما كانت هذه الأماكن قريبة من الأماكن المأهولة، لكن البحث العلمى وإنجازاته الطيبة فى إسعاد البشرية وفر أجهزة لامتصاص هذه الأصوات الصادرة عن انطلاق بخار الماء وجعلها غير مسموعة تماما.

ويعتمد استخدام حرارة الأرض عامة على درجة حرارة المصدر. ويتطلب الاستغلال الاقتصادى لطاقة الأرض الحرارية حفر آبار إنتاج على أعماق تتراوح بين ١٠٠ - ٤٥٠٠ م تحت سطح الأرض. ويعد توليد الكهرباء من أهم الاستخدامات غير المباشرة لمصادر حرارة الأرض عالية الحرارة (> ١٥٠ْسلسية) الموجودة فى المناطق البركانية. أما مصادر حرارة الأرض المتوسطة والمنخفضة الحرارة (< ١٥٠ْسلسية)، الموجودة فى معظم مناطق الكرة الأرضية، فلها استخدامات أخرى مثل التدفئة وتبريد المنازل والبنايات والمصانع، وإنبات المحاصيل فى بيئات غير البيئة المناسبة لإنباتها (تدفئة الصوبات الزراعية)، وتنمية الثروة المائية، ومد عمليات الصناعة بالحرارة مثل تجفيف أخشاب الأشجار وتجفيف الفواكه والخضروات وبسترة اللبن، والاستحمام والاستجمام والعلاج...إلخ. ويطلق عليها الاستخدامات المباشرة لمصادر حرارة الأرض. وفيما يلى عرض لأهم استخدامات طاقة الأرض الحرارية:

١) الاستخدام المباشر لطاقة الأرض الحرارية

الاستخدام المباشر لحرارة الأرض هو أحد أقدم استخداماتها، وهو استخدام متعدد الجوانب، نذكر منه:

أ) استخدام مياه حرارة الأرض فى الاستزراع المائى وتنمية الثروة السمكية (٢١ْ-٣٢ْسلسية):
حيث يستخدم الماء الطبيعى لإسراع نمو الأسماك والمحاريات والبرمائيات. إذ إن الماء

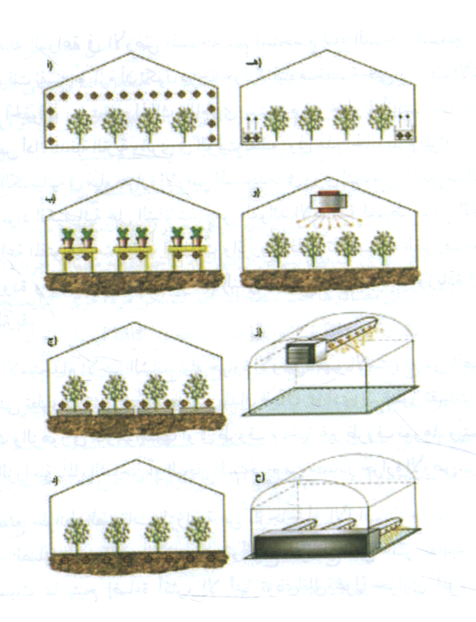
الدافئ يساعد فى نمو الحيوانات المائية طوال العام فى ظروف مثالية من البيئة والحرارة، أيا كانت درجة الحرارة الخارجية. وفى بعض المزارع المائية يتم خلط الماء الساخن المستخرج من مصادر حرارة الأرض مع الماء البارد لتعيش الحيوانات المائية وتنمو فيه. ويساعد ذلك فى الحصول على درجة الحرارة المثالية التى تمكن من تربية أنواع الحياة المائية المنقولة من بيئات أخرى وتحسين الإنتاج، والحصول على أكثر من دورة استزراع وإنتاج فى بعض الحالات.

من أهم الزراعات المائية التى تقوم على مصادر مياه الحرارة الأرضية، تربية بعض الحيوانات التى تحتاج إلى المياه الدافئة فى نموها ومعيشتها مثل التماسيح، للاستفادة منها فى جذب السياح والإفادة من جلودها، واستزراع الجمبرى وبعض النباتات والحيوانات البحرية وحيدة الخلية.

وقد استخدمت الصين المياه الدافئة من حرارة الأرض لتربية بعض أنواع الأسماك، كذلك استخدمت اليابان المزارع المائية الدافئة لتربية الأسماك والجمبرى والتماسيح واستزراع بعض النباتات والحيوانات وحيدة الخلية للاستفادة من طاقتها العالية.

ب) استخدام المياه الساخنة من حرارة الأرض فى الاستحمام والاستجمام والأغراض الطبية(٢٧-٤١ سلسية): استخدمت مياه الينابيع الحارة للاستحمام والاستجمام منذ قرون مضت، واستخدمها الرومان لعلاج أمراض العيون والأمراض الجلدية. وحتى اليوم تستخدم بعض بلدان العالم مياه الينابيع المعدنية الدافئة فى الاستحمام والاستشفاء. وقد انتشرت حمامات المياه الأرضية الدافئة فى العديد من بلدان العالم مثل روسيا واليابان والمكسيك وإنجلترا والولايات المتحدة الأمريكية وبعض دول من أمريكا الجنوبية، وأقامت بعض البلدان المصحات بجانب الينابيع المعدنية الدافئة.

ج) استخدام مياه حرارة الأرض فى الزراعة والاستزراع فى الدفيئات (الصوبات الزراعية) (٢٧ - ٩٣سلسية): تستخدم مصادر حرارة الأرض على امتداد العالم لزيادة المنتجات الزراعية. ويشمل استخدام مياه حرارة الأرض فى الزراعة فى الحقول المفتوحة أو الاستزراع فى الصوبات الزراعية (شكل رقم ٣٤).



شكل رقم (٣٤) أنظمة تسخين الصوبات الزراعية.

أ) تسخين أنابيب مرتفعة. ب) تسخين المنصات.

ج) تسخين باستخدام أنابيب تسخين على ارتفاعات متوسطة.

د) تسخين التربة. هـ) تسخين جانبي.

و) مروحة تسخين علوية. ز) أنابيب تسخين علوية.

ح) أنابيب تسخين سفلية.

فى حالة الزراعة فى الأرض المفتوحة يتم استخدام الماء الساخن لتسخين التربة والرى فى الوقت نفسه. ويلزم أن تكون درجة حرارة المياه منخفضة حتى لا تتلف الأشجار والزروع فى الحقول. ويستخدم لذلك نظام رى يستخدم فيه خطوط أنابيب مدفونة تحت سطح الأرض أداة لتدفئة التربة والرى فى الوقت نفسه. وفى هذه الحالة يلزم المراقبة الدقيقة للمكونات الكيميائية فى مياه حرارة الأرض المستخدمة فى الرى لتحاشى التأثيرات الضارة من بعض المواد الكيميائية على النباتات. ومن الفوائد الأساسية لضبط حرارة التربة فى حقول الزراعة المفتوحة، منع تلف النباتات والزروع الذى تتسبب فيه الظروف المناخية شديدة البرودة وكذلك لزيادة مدة موسم النمو وإسراع نمو النباتات وزيادة الإنتاج وخصوبة التربة.

أما الاستخدام الآخر الشائع لمياه حرارة الأرض، فهو الاستزراع فى الصوبات الزراعية التى تطورت كثيرا فى عديد من بلدان العالم، مما أدى إلى تطور تقنيات زراعة الخضراوات والزهور فى غير مواسمها أو فى ظروف مناخية غير ظروف نموها. ويتم تدفئة الصوبات الزراعية بالماء الساخن أو البخار المستخرج من مصادر حرارة الأرض.

وتصنع حوائط الصوبات الزراعية من الزجاج أو الألياف الزجاجية أو ألواح البلاستيك الصلبة أو رقائق البلاستيك. وألواح الزجاج هى أكثر نفاذية للضوء عن البلاستيك مما يتيح إضاءة أكثر، إلا أنها تؤدى إلى عزل حرارى أقل. كما أن ألواح الزجاج أكثر تكلفة من ألواح البلاستيك أو رقائقه. وأبسط الصوبات الزراعية هى المصنعة من طبقة واحدة من رقائق البلاستيك. والصوبات الحديثة تستخدم طبقتين من رقائق البلاستيك بينهما طبقة من الهواء. وهذا النظام يساعد فى تقليل فقد الحرارة ويزيد من كفاءة الصوبة.

وتدفئة الصوبات يمكن أن تتم باستخدام أنظمة مختلفة، منها ما يمرر الماء الساخن من خلال أنابيب علوية أو أرضية أو وضع وحدات التدفئة على امتداد الحوائط أو بأسفل الطاولات التى توضع عليها الزروع، أو عدة طرق أخرى مختلفة. كما أن تدفئة الصوبات يمكن أن تتم أيضًا بدفع تيار هواء ساخن من خلال مستبدل حرارى heat exchanger ليمر من خلال أنظمة الأنابيب المجهز الصوبات بها.

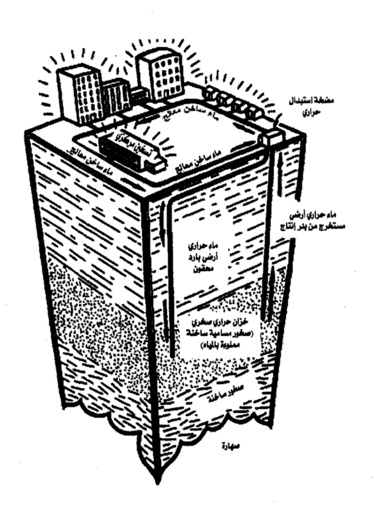
والمستبدل الحرارى هو أداة تساعد فى انتقال الحرارة من مياه حرارة الأرض إلى سائل آخر بارد دون تلامس المياه مع هذا السائل أو تختلط معه. ويسمى أيضًا "مستبدل الحرارة اللوحى"، عندما تنساب مياه حرارة الأرض الساخنة والسائل الآخر فى مجموعة من الألواح المسطحة التى تلامس كل منهما الأخرى. ويستخدم مستبدل الحرارة لتسخين مياه التدفئة الباردة بواسطة مياه حرارة الأرض الساخنة، حيث تنتقل الحرارة من المياه الساخنة إلى الألواح المعدنية الناقلة، وبالتالى ترتفع درجة حرارة مياه التدفئة. ومياه التدفئة التى يتم تسخينها يستفاد منها فى التدفئة، بينما المياه الساخنة المأخوذة من مصادر حرارة الأرض يعاد حقنها مرة أخرى إلى مصادرها تحت سطح الأرض لتسخن مرة أخرى. كما يستخدم مستبدل الحرارة عندما يكون المصدر الحرارى ساخنا بدرجة غير كافية ليصل الماء إلى درجة الغليان حتى يتكون البخار. فى هذه الحالة تنقل الحرارة من مياه المصدر الحرارى الساخن، عبر مستبدل الحرارة، إلى سائل آخر بارد له درجة غليان أقل من درجة غليان الماء. وعندما يتبخر هذا السائل عند درجة حرارة منخفضة، يستخدم هذا البخار لتوليد الكهرباء ثم يعاد تكثيفه ليستخدم فى دورات متتالية. أما مياه حرارة الأرض فيعاد حقنها إلى مصادرها تحت سطح الأرض لتسخن مرة أخرى وتستمر دورة استخدامها. وفى بعض الحالات تستخدم مياه حرارة الأرض فى تدفئة حظائر الحيوانات حيث يساعد ذلك للحفاظ على صحة الحيوان ونظافته فى بيئة منظمة حراريا.

د) استخدام مياه حرارة الأرض فى تدفئة المنازل (٢٧-١٢١سلسية): من الاستخدامات الشائعة الانتشار لمصادر حرارة الأرض على مستوى العالم، تدفئة المنازل، كذلك تدفئة أرضية أرصفة المشاة والطرق لمنع تجمد الثلوج عليها فى أثناء الشتاء. ويستخدم لذلك نظامان للتدفئة: الأول منهما هو نظام التدفئة بالضخ المباشر لمياه حرارة الأرض، والثانى هو نظام التدفئة من خلال مستبدل حرارى.

فى نظام التدفئة بالضخ المباشر لمياه حرارة الأرض، يدفع الماء الساخن المسحوب من مصدر الحرارة الأرضى مباشرة فى أنابيب ليمر على البنايات فتنقل الحرارة إليها، بعد ذلك يعاد حقن الماء المستخدم إلى الخزان المائى الجوفى من خلال آبار الحقن ليسخن مرة

أخرى حتى يعاد استخدامه باستمرار مرة بعد أخرى. وفى نظام التدفئة من خلال المستبدل الحرارى، يتم دفع مياه حرارة الأرض عبر أنابيب لتمر على مستبدل حرارى يتم نقل الحرارة فيه إلى مياه التدفئة التى تمر فى أنابيب منفصلة، ويتم دفع مياه التدفئة من خلال أنابيب خاصة إلى المنازل والبنايات لتدفئتها. بعد مرور مياه حرارة الأرض على المستبدل الحرارى تحقن المياه فى الأرض مرة أخرى من خلال آبار الحقن لتسخن مرة أخرى وهكذا ليتم استخدامها لنقل حرارة الأرض إلى السطح مرة أخرى.

وأنظمة التدفئة باستخدام مياه حرارة الأرض يمكن أن يفاد منه لتدفئة مبان منفصلة أو لتدفئة مجموعة من البنايات أو لتدفئة منطقة كاملة من خلال مركز تدفئة واحد (شكل رقم ٣٥).



شكل رقم (٣٥) أحد نظم التدفئة المركزية بمياه الحرارة الأرضية.

ونظرا لنظافة أنظمة التدفئة بمياه حرارة الأرض وفائدتها الاقتصادية فقد تزايد الإقبال على استخدامها فى كثير من بلدان العالم مثل الصين واليابان وفرنسا والولايات المتحدة الأمريكية وأيسلندا..إلخ. على سبيل المثال، فى ريكيافيك عاصمة أيسلندا، تمثل البنايات المدفئة باستخدام مياه حرارة الأرض حوالى ٩٥٪ من إجمالى بنايات المدينة.

هـ) نظام استخدام مياه حرارة الأرض فى التبريد: فى هذا النظام يستخدم سائلين للوصول إلى عملية التبريد: سائل للتبريد ينتشر ويتبخر ويتكثف، وسائل للامتصاص. فى العادة تستخدم الأمونيا كسائل للتبريد والماء كسائل للامتصاص. وتمد حرارة الأرض بالطاقة اللازمة لتشغيل أجهزة هذا النظام، وتقل كفاءة الأجهزة عندما تستخدم المياه فى درجات حرارة أقل من ١٠٥°سلسية.

فى عام ١٩٨٠م تم التوسع فى استخدام مياه حرارة الأرض واستغلالها الاقتصادى فى التبريد والتدفئة عندما تطورت مضخات الحرارة (شكل رقم ٣٦). ومضخات الحرارة هى آلات تحرك الحرارة فى اتجاه مضاد للاتجاه الذى تسلكه فى الطبيعة، أى أنها عكسية التشغيل، يمكن أن تمد بالحرارة أو البرودة.

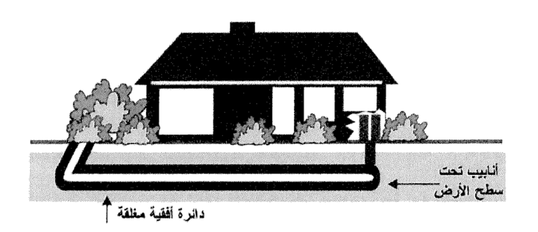


شكل رقم (٣٦) نظام ضخ حرارى ارضى مزدوج.

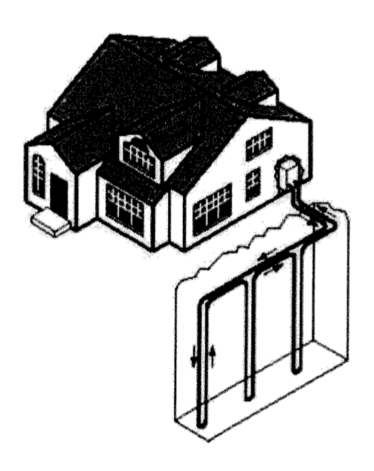
و) نظام الاستبدال الحرارى فى التدفئة والتبريد: لاحظ العلماء أن درجة الحرارة فى المناطق المعتدلة مناخيا تبلغ حوالى ١٥° سلسية عند أعماق لا تزيد عن أمتار قليلة من سطح الأرض وتكون ثابتة تقريبا طوال العام. وقد تتردد بين ٢٠° - ٢٥° سلسية فى المناطق الاستوائية، وفى المناطق القطبية تظل حول الصفر طوال العام. ذلك يعنى أنه فى معظم مناطق الكرة الأرضية، تكون درجة حرارة التربة غالبا أدفأ من حرارة الهواء فى الشتاء وأبرد من حرارة الهواء فى الصيف. ويساعد ذلك فى استخدام نظام الاستبدال الحرارى مع حرارة الأرض لتدفئة البنايات أو تبريدها، حيث تنقل الأنابيب الحرارة من الأرض إلى البنايات فى الشتاء وتحدث العملية العكسية فى الصيف. ويتكون نظام الاستبدال الحرارى من أنابيب بلاستيك تدفن تحت سطح الأرض، تحتوى على خليط من الماء ومادة مانعة للتجمد، حيث يمتص الماء الحرارة وينقلها إلى خارجه أو إلى داخله.

ومن مميزات نظام استبدال حرارة الأرض، أنها لا تستخدم حرارة أو برودة مولدة، لأن الحرارة المستخدمة هى متجددة ومتوافرة باستمرار تحت سطح الأرض. والطاقة الوحيدة اللازمة لهذا النظام هى الكهرباء التى تستخدم لدفع المياه خلال الأنابيب. والمضخات المستخدمة لدفع المياه هى وحدات صغيرة توضع فى داخل المبنى، وأنابيب استبدال الحرارة يمكن أن تدفن تحت سطح الأرض بطرق مختلفة، منها الدفن الأفقى (شكل رقم ٣٧) أو الدفن الرأسى (شكل رقم ٣٨). وهذه الأنابيب تعمر طويلا، حيث يمكن استخدامها لمدة ٥٠ سنة تقريبا قبل إجراء صيانة لها. وفى حالة وجود بحيرة أو بركة ماء بالقرب من المبنى، يمكن غمر الأنابيب فى الماء، حيث يمد الماء بنظام جيد للاستبدال الحرارى.

وتكلفة تركيب نظام الاستبدال الحرارى هى أكثر تكلفة من تركيب أنظمة التدفئة والتبريد التقليدية، إلا أنه على المدى الطويل، يكون نظام الاستبدال الحرارى موفرا للتكلفة. إضافة إلى ذلك، يحتاج نظام استبدال حرارة الأرض إلى صيانة أقل بكثير من أجهزة التدفئة والتبريد التقليدية.



شكل رقم (٣٧) نظام استبدال حرارى (تدفئة وتبريد) أفقى



شكل رقم (٣٨) نظام استبدال حرارى (تدفئة وتبريد) رأسى.

ز) **استخدام مياه حرارة الأرض فى الصناعة:** تستخدم مياه حرارة الأرض فى كثير من بلدان العالم فى صباغة الملابس وتنظيفها وغسيل الصوف المستخدم فى صباغة السجاد لإكسابه ألوانًا ثابتة. كما تستخدم مياه حرارة الأرض فى تجفيف الأخشاب وتجفيف الفاكهة والخضروات والطحالب وصناعة الورق وبسترة اللبن واستخلاص الذهب والفضة من خاماتها.

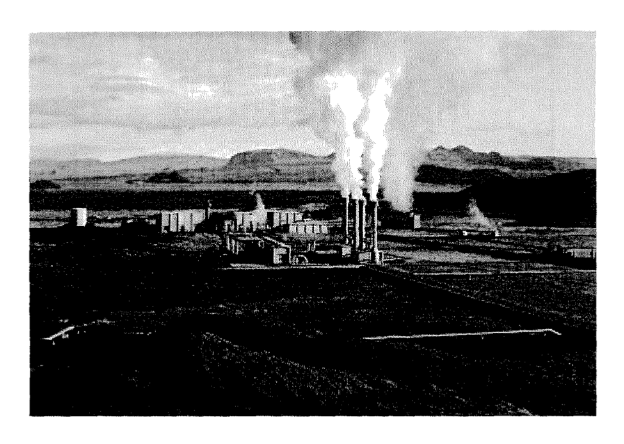
٢) الاستخدام غير المباشر لطاقة الأرض الحرارية:

تستخدم طاقة الأرض الحرارية لتوليد الكهرباء، حيث يتم حفر آبار عميقة للوصول إلى مصادر حرارة الأرض تحت سطح الأرض. بعد حفر الآبار يتم إنزال أنابيب من الصلب لينطلق من خلالها الماء الساخن والبخار من خزانات الأرض الحرارية إلى سطح الأرض بصورة طبيعية، أو يتم سحبه إلى سطح الأرض باستخدام مضخات خاصة، ويتم توجيهه إلى محطات توليد الكهرباء التى تدار باستخدام الطاقة الحرارية الأرضية. ويستلزم توليد الكهرباء من محطات طاقة الأرض الحرارية استغلال خزانات أرضية ذات درجة حرارة عالية (> ١٥٠° سلسية). ويفضل الآبار المنتجة للبخار الجاف أو الماء الساخن جدًّا، حيث يستخدم البخار الجاف لإدارة التوربينات وتوليد الكهرباء.

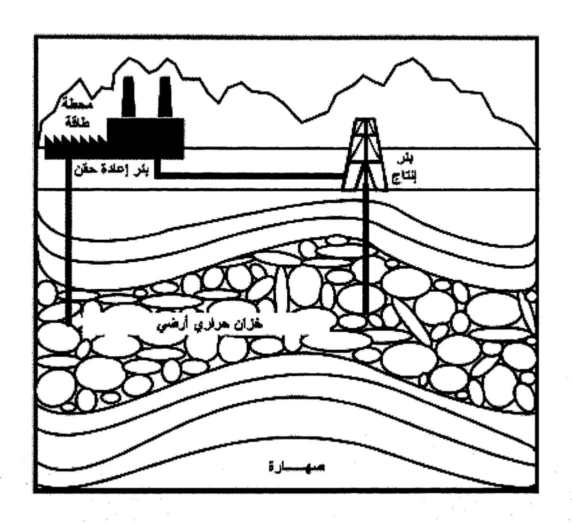
استخدام مصادر حرارة الأرض العالية لتوليد الكهرباء: يتم توليد الكهرباء من محطات طاقة الأرض الحرارية باستخدام توربينات البخار المعروفة. ويرجع استخدام الآلات التى تدار بطاقة البخار إلى زمن مكتبة الإسكندرية فى مصر خلال الحكم الفارسى والإغريقى والرومانى، ولم ينتشر استخدامها حتى عام ١٧٠٠م، حين أعيد اكتشاف قدرة طاقة البخار على تحريك المكابس الكبيرة المستخدمة فى الصناعة، وبعد عام ١٧٠٠م طور جيمس وات الآلة البخارية وزاد كفاءتها، تلى ذلك تصنيع القاطرات والسفن التى تدار بالبخار. واستخدم أول توربين لتوليد الكهرباء من البخار عام ١٨٨٠م، وتم تطويره فيما بعد. وحاليا تستخدم التوربينات لتوليد الكهرباء من محطات الطاقة التى تستخدم الوقود الحفرى وكذلك من محطات طاقة الأرض الحرارية.

محطات طاقة الأرض الحرارية: هى المحطات التى تستخدم حرارة الأرض لتوليد الكهرباء. وهناك ثلاثة أنواع من محطات توليد الكهرباء من طاقة الأرض الحرارية:

محطات البخار الجاف - محطات الماء الساخن - محطات الدورة الثنائية. ويعتمد كل نوع منها على درجة حرارة خزان الماء الجوفى وعمقه ونوع الماء والبخار المستخرج منه. وفى الحالات الثلاث يتم إعادة حقن البخار المكثف والماء الساخن بعد استخدامه إلى الخزان الجوفى لاكتساب الحرارة مرة أخرى. وفى الشكل رقم (٣٩) صورة لإحدى محطات إنتاج الكهرباء من طاقة الأرض الحرارية، ويمثل الشكل رقم (٤٠) رسمًا توضيحيًا لمحطة طاقة حرارية أرضية.



شكل رقم (٩٣) إحدى محطات إنتاج الكهرباء من الطاقة الحرارية الأرضية.

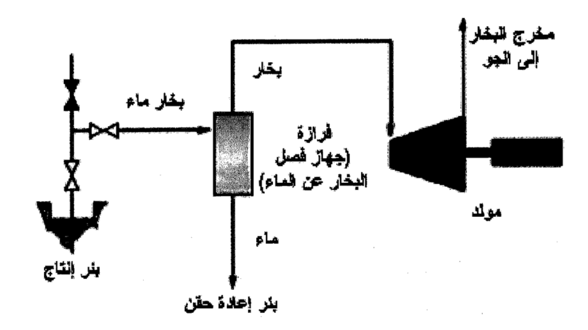


شكل رقم (٤٠) رسم توضيحي لمحطة طاقة حرارية أرضية.

أ) **محطات توليد الكهرباء من البخار الجاف:** يستخدم البخار الجاف المستخرج من خزان حرارة الأرض لإدارة التوربينات وتوليد الكهرباء فى هذا النوع من المحطات. ويستخرج البخار الجاف عادة من مصادر حرارة الأرض التى تصل درجة الحرارة فيها إلى أكثر من ١٨٠° سلسية. والبخار الجاف هو الذى لا يحتوى على مياه سائلة حيث يكون قد تحول بالكامل إلى الحالة الغازية. وهذا النوع من المحطات هو أقدم محطات الطاقة الحرارية الأرضية، ومازال يستخدم حتى اليوم بعد أن أدخلت عليها بعد التعديلات. ومعظم هذه المحطات يقع فى مناطق الفوارات الأرضية.

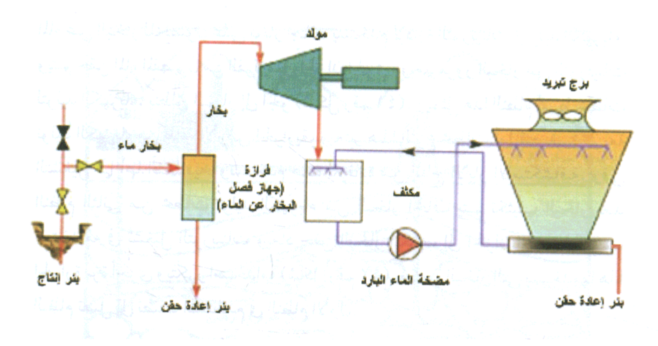
ويوجد نظامان من محطات توليد الكهرباء من البخار الأرضي الجاف. الأول منهما يسحب البخار والماء الساخن من البئر تحت ضغط عال جدًّا ليمر خلال أنابيب الإنتاج حيث ينخفض الضغط وتزداد كمية البخار. ويمرر البخار على فرازة لفصل ما تبقى من

الماء عن البخار للحصول على بخار جاف يستخدم لإدارة التوربينات وتوليد الكهرباء. ويتم حقن الماء المفصول من الفرازة إلى الخزان الجوفى. وبعد مرور البخار على التوربينات لتوليد الكهرباء، ينطلق البخار إلى الجو (شكل رقم ٤١). ويمثل هذا النظام أبسط محطات توليد الكهرباء من طاقة الأرض الحرارية، ويعتبر هذا النوع محطات أولية صغيرة سريعة التشغيل كما أنها اقتصادية، وتستخدم عادة للإفادة من إنتاج الآبار الاستكشافية. وفى النظام الثانى من محطات توليد الكهرباء من البخار الجاف يتم تكثيف البخار بعد استخدامه فى تشغيل التوربينات ويعاد حقن البخار المكثف إلى الخزان الجوفى ليكتسب الحرارة مرة أخرى ويتكرر استخدامه (شكل رقم ٤٢). وكمية البخار التى يستخدمها هذا النظام تصل إلى نصف المستخدم فى النظام الأول.



شكل رقم (٤١) رسم توضيحى لمحطة طاقة حرارية أرضية تعمل بالبخار الجاف
وينطلق البخار بعد استخدامه إلى الجو

وكانت أول محطة طاقة أرضية حرارية استخدمت البخار الجاف هى محطة لارديرللو بإيطاليا التى تم بناؤها عام ١٩٠٤ م ومازالت تنتج الكهرباء حتى الآن. وأكبر محطة توليد كهرباء بالبخار الجاف على مستوى العالم هى محطة جيسر فى شمال كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية التى أقيمت عام ١٩٤٠م ومازالت تعمل حتى الآن.

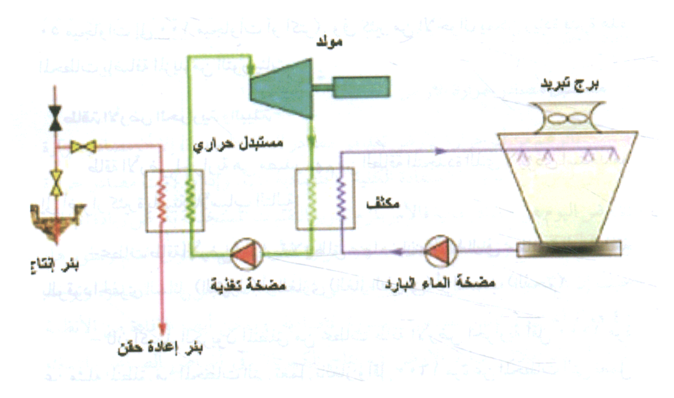


شكل رقم (٤٢) رسم توضيحي لمحطة طاقة حرارية أرضية تعمل بالبخار الجاف الذي يتم تكثيفه بعد استخدامه وإعادة ضخه إلى الخزان الجوفي.

ب) **محطات توليد الكهرباء من الماء الساخن:** يستخدم فى هذا النوع من المحطات الماء الساخن (فوق ١٨٠° سلسية) الموجود تحت ضغوط عالية جدًّا المستخرج من خزانات الأرض الحرارية. وعند هذه الضغوط العالية لا يسمح للماء بالتحول إلى بخار بالرغم من تعدى درجة حرارته درجة غليان الماء عند الضغط الجوى العادى. وعند سحب الماء الساخن وانطلاقه يقل ضغطه ويتحول بسرعة إلى بخار يستخدم لإدارة التوربينات وتوليد الكهرباء. والماء الساخن الذى لا يتحول إلى بخار يتجمع فى فرازة فصل الماء عن البخار ليعاد حقنه إلى الخزان الجوفى الحرارى حتى يكتسب الحرارة، والبخار المستخدم يتم تكثيفه وإعادة حقنه إلى الخزان الجوفى مرة أخرى. وهذا النوع من محطات توليد الكهرباء من طاقة الأرض الحرارية، يمثل معظم الموجود منها على مستوى العالم.

ج) **محطات توليد الكهرباء ثنائية الدورة:** تستخدم تقنية المحطات ثنائية الدورة لإنتاج الكهرباء من مصادر حرارة الأرض ذات درجات الحرارة المتوسطة والماء الساخن المتخلف عن الفرازات (أجهزة فصل الماء عن البخار). ويستخدم فى هذه المحطات سائلا آخر له

درجة غليان منخفضة عن درجة غليان الماء. فى هذه العملية الثنائية يستخدم الماء الساخن من مصادر حرارة الأرض للإفادة من درجة حرارته فقط دون إنتاج بخار الماء. يتبادل الماء الساخن حرارته مع السائل الآخر الأقل حرارة منه من خلال مستبدل حرارى يتم فيه تحول هذا السائل إلى بخار (شكل رقم ٤٣). ويستخدم هذا البخار لإدارة التوربينات وتوليد الكهرباء، وبعد مرور البخار على التوربينات يتم تبريده وتكثيفه وإعادته إلى مستبدل الحرارة لتكرار العملية بصورة مستمرة. وبعد استخدام الماء الساخن يتم إعادة حقنه إلى الخزان الجوفى لاكتساب الحرارة وإعادة الإفادة منه. ولزيادة كفاءة هذا النوع من المحطات تستخدم سلسلة من وحدات الاستبدال الحرارى والتوربينات.



شكل رقم (٤٣) رسم توضيحى لمحطة طاقة حرارية أرضية ثنائية الدورة.

ومحطات الدورة الثنائية هى من التقنيات عالية التكلفة، لكنها وسيلة ملائمة لاستغلال الطاقة المتاحة من حقول حرارة الأرض متوسطة الحرارة، كما أنه لا يصدر عنها أية غازات تضر البيئة لأن دورتها تكون مغلقة. لهذه الأسباب ازداد انتشارها فى كثير

من بلدان العالم التى لديها مصادر حرارة أرضية تنتج الماء الساخن متوسط الحرارة. وغالبية هذه المحطات تستخدم فى المناطق النائية الوعرة، والمناطق البعيدة المعزولة (المناطق التى بها ندرة من الوقود العادى أو صعوبة فى الحصول عليه أو التى لا تصل الكهرباء إليها)، وكذلك فى مناطق الينابيع الحارة والمنتجعات الصحية.

حجوم محطات طاقة الأرض الحرارية:

تتنوع محطات توليد الكهرباء من طاقة الأرض الحرارية تبعا لقدرتها، وتصنف على أنها: إما صغيرة (عندما تنتج من ٣٠٠ كيلووات إلى ١٠ ميجاوات) وإما متوسطة (عندما تنتج من ١٠ ميجاوات إلى ٥٠ ميجاوات) أو كبيرة (عندما يتراوح إنتاجها من الكهرباء من ٥٠ ميجاوات إلى ١٠٠ ميجاوات أو أكثر). وفى كثير من الأحوال يمكن زيادة قدرة هذه المحطات بإضافة المزيد من التوربينات.

طاقة الأرض الحرارية والبيئة

طاقة الأرض الحرارية هى مصدر مهم من الطاقة المتجددة الذى لا يؤدى استخدامه إلى أضرار كثيرة بالبيئة للأسباب التالية:

- محطات طاقة الأرض الحرارية لا ينطلق عنها دخان مثل الحال فى محطات توليد الطاقة بالوقود الحفرى السائل (البترول) أو الغازى (الغاز الطبيعى) أو الصلب (الفحم).

- ثان أكسيد الكربون المنطلق من محطات طاقة الأرض الحرارية أقل ١٠٠٠ مرة عن مثيله المنطلق من المحطات التى تعمل بالغاز وأقل ١٦٠٠ مرة عن المحطات التى تعمل بالبترول وأقل ١٨٠٠ مرة عن المحطات التى تعمل بالفحم.

- يخرج من محطات طاقة الأرض الحرارية بخار الماء وقدر ضئيل من الغازات فقط. ويستخدم عادة فى هذه المحطات أجهزة مراقبة ووسائل لتنظيف الجو من هذه الغازات إما بإعادة حقنها فى الأرض أو بتحويلها إلى منتجات كيميائية مثل المخصبات السائلة للتربة والكبريت.

- المحطات ثنائية الدورة لا تصدر عنها أية مخرجات غازية.

- تستخدم فى آبار الحرارة الأرضية أنابيب من الصلب يتم عزل جوانبها على امتداد البئر بطريقة جيدة لحماية خزانات المياه الأرضية الباردة الخاصة بالاستخدام الآدمى من التلوث.

- يتم حقن الماء الساخن والبخار المكثف بعد استخدامهما فى توليد الكهرباء إلى الخزانات الجوفية من خلال آبار حقن معزولة بدرجة عالية.

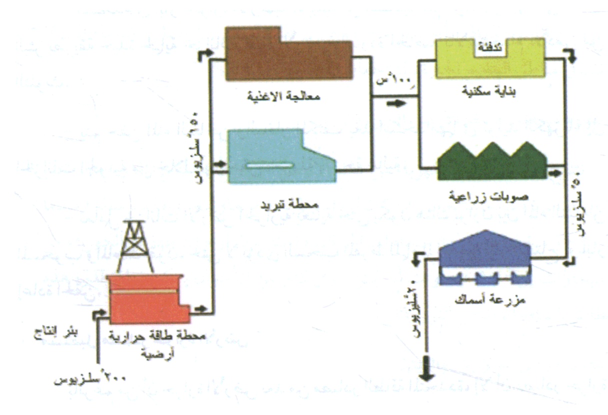
- تعامل خزانات الأرض الحرارية بعناية حتى يكون هناك توازن بين الماء الساخن المسحوب والماء المحقون، حتى لا يؤدى السحب المفرط للماء إلى تدمير آبار الإنتاج أو آبار إعادة الحقن.

مستقبل مصادر حرارة الأرض

بالرغم من أن حرارة الأرض تعد من مصادر الطاقة المتجددة، إلا أن مصادر حرارة الأرض ليس من السهل الاستفادة الكلية الاقتصادية منها. وإذا ما كانت مصادر حرارة الأرض اليوم هى مصادر مائية فالأمر يلزم تطوير التقنيات المستخدمة بغرض زيادة الإنتاج وخفض التكلفة. وزيادة استغلال مصادر حرارة الأرض على مستوى العالم وتطويرها، حيث إن ٣٥ دولة فقط على مستوى العالم هى المستفيدة حاليا من هذه المصادر. وتوجد ٤٠ دولة أخرى لم تطور مصادرها بصورة اقتصادية. ويمكن أيضًا الإفادة من الأنظمة المتكاملة لاستغلال حرارة الأرض فى إنتاج الكهرباء وفى أغراض الصناعة والتدفئة والتبريد والزراعة وزيادة الثروة السمكية وتنميتها. ويمثل الشكل رقم (٤٤) أحد النظم التى تساعد فى الاستغلال الاقتصادى لطاقة الأرض الحرارية.

ومن المتوقع أن يساعد التطور التقنى فى المستقبل القريب على الإفادة من ثلاثة مصادر أخرى من مصادر حرارة الأرض التى بدأت التجارب الأولية عليها بالفعل على أولاها، ويزداد الأمل والتطلع إلى الإفادة من المصدرين الآخرين، وهذه المصادر هى: الصخور الجافة الساخنة hot dry rocks والصهارة magma والمنضغطات الأرضية

.geopressured وتسمى هذه المصادر: مصادر طاقة الأرض الحرارية فى المستقبل القريب.



شكل رقم (٤٤) نظام متكامل لاستغلال الحرارة الأرضية.

وقد لاقت مصادر حرارة الأرض من الصخور الجافة الساخنة الاهتمام ووجهت إليها الأبحاث والتجارب فى الآونة الأخيرة. وهذه التجارب تم عرضها بنجاح فى كل من الولايات المتحدة الأمريكية واليابان وبعض الدول الأوروبية. ويتطلب استخدام الصخور الجافة الساخنة كمصدر لطاقة الأرض الحرارية، حفر آبار عميقة فى الصخور وحقن الماء البارد تحت ضغوط عالية إلى الشدوخ والكسور والتشققات عند هذه الأعماق واستخراج الماء الساخن والبخار من آبار أخرى مجاورة. ومن المتوقع لهذا المصدر الحرارى الأرضى أن يكون أكثر من مصادر الوقود الحفرى مجتمعة على مستوى العالم.

أما مصدر طاقة الأرض الحرارية من الصهارة، والتى يطلق عليها مصادر الطاقة الأعمق، فسوف يستخدم لاستغلالها عملية شبيهة بمصادر الطاقة من الصخور الجافة

الساخنة، حيث يتم حقن الماء مباشرة إلى الصهارة وسحب البخار إلى سطح الأرض من آبار أخرى مجاورة.

ومصادر المنضغطات الأرضية هى خزانات للماء الساخن والغاز الطبيعى المخزون فى الصخور الرسوبية العميقة تحت ضغط هائل بسبب الصخور التى تعلوها. ويمكن فى حالة استغلال هذه المصادر استخدام الحرارة والضغط من خزانات الماء الساخن وكذلك الغاز الطبيعى لتوليد الكهرباء.

مصادر حرارة الأرض فى المنطقة العربية

تعد المنطقة العربية من المناطق قليلة المظاهر التى تدل على حرارة الأرض. وتوجد هذه المظاهر على شكل ينابيع حارة فقط تتباين درجة حرارتها بين المنخفضة والمتوسطة. ومن أشهر الينابيع الحارة فى مصر عيون موسى وحمام فرعون على الساحل الشرقى لخليج السويس، حيث تصل درجة حرارة الماء الحار فى حمام فرعون إلى ٥٠° سلسية ويستخدم هذا الماء فى الاستشفاء. والينابيع الحارة فى الوادى الجديد ذات درجة الحرارة المنخفضة تستخدم مياهها فى رى الأراضى المستصلحة. والعين السخنة على الساحل الغربى لخليج السويس أقيم عليها عدد من المنتجعات السياحية، وبالقرب من القاهرة توجد عين حلوان التى تستخدم فى الاستشفاء. وفى المغرب العربى يوجد العديد من الينابيع الحارة التى تتراوح درجة حرارتها بين ٥٠°– ٩٥° سلسية، ومن أشهرها حمام مسكوتين (٩٥° سلسية) فى الجزائر الذى يستخدم للاستجمام.

ثبت المصطلحات المستخدمة فى الكتاب

A

متراكمة بركانية (أقماع الجمرات البركانية) **agglomerate**

براكين صغيرة تتكون نتيجة تجمع كميات كبيرة من الصخور البركانية الفتاتية، تتكون عندما تنطلق الصهارة من البركان بشكل انفجارى بسبب كميات الغازات الكثيرة المصاحبة للصهارة، قاذفة الجمرات البركانية والرماد البركانى والصهارة المتوهجة فى الهواء. وعند سقوط هذه المكونات حول قصبة البركان تكون تجمعا من الفتات البركانى الذى يتكون من كسارة كروانية أو شبه زاوية يزيد قطر الواحدة منها على ٣٢ مليمتر. وأقماع الجمرات البركانية تكون متجانسة الميول خاصة بالقرب من قصبة البركان.

أنديزيت **andesite**

صخر نارى بركانى سطحى متعادل، أدكن اللون دقيق التحبب ، نسبة السيليكا فيه تقل عن مثيلتها فى صخور الجرانيت.

أثينوسفير (طبقات الصخور الضعيفة) **athenosphere**

طبقة من طبقات الأرض تلى طبقة الصخور الصلبة (ليثوسفير) lithosphere، وصخوره ذات طبيعة لدنة. وتمتد صخور طبقة الأثينوسفير من قاعدة طبقة الليثوسفير التى تعلوها إلى عمق ٣٥٠ كيلو متر تقريبا ، وتطفو صخور طبقة الليثوسفير الصلبة على صخور الأثينوسفير الضعيفة المرنة. وطبقة الأثينوسفير هى الطبقة التى يحدث فيها الكثير من العمليات التى تجرى فى باطن الأرض.

B

بازلت **basalt**

صخر نارى بركانى قاعدى لونه أسود ، وهو من الصخور دقيقة التحبب الصلبة التى تحتوى على ٤٠ ٪ من معدن السيليكا تقريبا.

صهارة بازلتية **basaltic magma**

صهارة غنية بالسيليكا (٥٠٪) ، تتكون عندما تنصهر المعادن الغنية بمحتوى السيليكا عند درجة حرارة أقل من غيرها من المعادن. وتتكون الصهارة البازلتية فى البنيات التى تشمل نطاقات انغماس الألواح التكتونية ومناطق زهور وشاح الأرض أسفل القارات ونطاقات التصدع القارية. وصهارة البازلت ذات لزوجة قليلة، لذا ترتفع بسرعة من باطن الأرض نحو السطح وتطفح على سطح الأرض وتنساب بسيولة.

C

قـارة **continent**

كتلة كبرى من اليابسة محوطة بالماء .

انجراف قـارى **continental drift**

نظرية ترجع إلى العالم الألمانى الفريد فاجنر (١٩١٠م) الذى افترض وجود قارة وحيدة عملاقة جمعت كل القارات فى كتلة يابسة واحدة سميت "بانجيا **Pangea**" وأن هذه القارة تفلقت وزحفت أجزاؤها بعيدة عن بعضها البعض فى اتجاهات مختلفة. واستمر تباعد هذه الأجزاء خلال العصور الجيولوجية المختلفة حتى تكون التوزيع الحالى لليابسة والبحار والمحيطات.

خسف قـارى **continental rifting**

نظرية تفترض أنه فى المناطق القارية، يكون لحدود الألواح المتباعدة قدرة فى أن تشطر قارة إلى جزئين. وعندما يتباعد اللوحان المتجاوران يتكون صدع عميق (واد متصدع) نتيجة تطور الانخساف القارى بسبب ضعف القشرة الأرضية وانشقاقها وغوصها إلى أسفل .

حدود الألواح المتقاربة **convergent plate boundaries**

الحدود الناشئة عن تحرك لوحان تكتونيان متجاوران تجاه بعضهما البعض فيتصادمان أو يغوص أحدهما أسفل الآخر. ويحدث ذلك نتيجة إجهادات الضغط الواقعة على اللوحين وعدم تساوى كثافة اللوحان المتقاربان ، حيث ينغمس اللوح الأعلى كثافة منهما أسفل اللوح الأقل كثافة . ويمكن أن يحدث التصادم بين لوح محيطى ولوح قارى أو بين لوحين محيطيين أو بين لوحين قاريين .

لـب **core**

الطبقة الداخلية المكونة للأرض، وتشكل طبقة شبه كروية يبلغ نصف قطرها حوالى ٣٤٧٠ كيلومتر. وهو أعلى طبقات الأرض كثافة، ويعتقد أنه يتكون من معدنى الحديد والنيكل . واللب الخارجى للأرض منصهر بسبب درجات الحرارة العالية التى تصل إلى ٦٠٠٠° سلزية والضغوط العالية . أما لب الأرض الداخلى فهو صلب على الرغم من أنه أعلى حرارة من اللب الخارجى المنصهر .

قشـرة **crust**

الطبقة الرقيقة الخارجية للأرض، وهى أقل طبقات الأرض سمكا، كما أنها باردة نسبيا وصخورها متنوعة وصلبة وقوية. وتختلف صخور قشرة الأرض أسفل قعور المحيطات عنها أسفل القارات فى السمك والتركيب الصخرى . يبلغ سمك قشرة الأرض المحيطية من ٤ - ٧ كيلومتر ، وتتكون من صخور البازلت الدكناء اللون ذات الكثافة العالية . أما قشرة الأرض القارية فيتردد سمكها بين ٢٠-٤٠ كيلومتر ، وتتكون من صخور الجرانيت الناصلة اللون والأقل كثافة . ويصل سمك قشرة الأرض أسفل سلاسل الجبال القارية إلى حوالى ٧٠ كيلومتر .

نطاق التماس بين قشرة الأرض ووشاحها **crust – mantle boundary**

نطاق يقع عند عمق يتراوح بين ٤٠ إلى ٧٠ كيلومتر، والقشرة المحيطية أقل سمكا من القشرة القارية. ويمتد سمك القشرة القارية أسفل سلاسل الجبال عنها أسفل السهول والوديان.

D

deformation **تحـرف**

تغير فى بنية الصخور عند تعرضها لطاقة تكتونية بشكل ما ، لذا يعرف التحرف بأنه التغير الذى يطرأ على الشكل الأصلى للصخور (بنيتها وهيئتها). والتحرف إما أن يكون مرنا **elastic deformation** ، تزول آثاره عند زوال الجهد الواقع على الصخور وتستعيد الصخور أشكالها الأصلية ، أو يكون لدنا **plastic deformation** ، يؤدى إلى تكون طيات ولا تزول آثاره بعد زوال الجهد الواقع على الصخور ، أو تحرف تهشمى (تشوه) **brittle deformation**، يؤدى إلى تصدعات وشدوخ ومفاصل وتحول فى الصخور.

وهناك أربعة عوامل رئيسية تتحكم فى سلوك الصخر حال وقوعه تحت تأثير الاجهاد هى: طبيعة مادة الصخر - درجة الحرارة - الضغط - الزمن .

dike = dyke **جدة قاطعة (سد رأسى)**

جسم صخرى نارى لوحى الشكل متدخل يقطع طبقات الصخور المحيطة ويخترقها رأسيا، تتكون عن كتل الصهارة الضخمة عندما تدفع الصخور المحيطة بها وتنساب لأعلى فى شقوق وفواصل هذه الصخور.

diorite **ديوريت**

صخر نارى جوفى غليظ التحبب ، لونه رمادى إلى سواد ونسبة السيليكا فيه أقل من نسبتها فى صخر الجرانيت.

divergent plate boundaries **حدود الألواح المتباعدة**

الحدود الناشئة عن تحرك لوحان تكتونيان متجاوران بعيداً عن بعضهما البعض فتحدث فتحات فى القشرة الأرضية عند نطاق تماس اللوحين نتيجة لتباعدهما . ويحدث

ذلك نتيجة لإجهادات الشد الواقعة على اللوحين بسبب ارتفاع طبقة الأثينوسفير أسفل اللوحان إلى أعلى لتملأ الفجوات بين اللوحين . وعند ارتفاع الأثينوسفير بين اللوحين المتباعدين ينصهر بعضاً منه ويتحول إلى صهارة يرتفع معظمها إلى السطح لتبرد مكونة قشرة أرضية جديدة (ليثوسفير جديد) حول حدود الألواح المتباعدة ، ويحدث هذا النشاط عادة أسفل المحيطات ، حيث أن معظم الألواح التكتونية المتباعدة تقع عند قعور المحيطات.

E

باطـن الأرض **Earth's interior**

نطاقات الأرض التى تلى قشرتها الرقيقة والتى يشكل وشاح الأرض أكبر نطاقاتها، كما أن لب الأرض يكون أعلاها حرارة وكثافة. وباطن الأرض هو المنطقة العريضة التى يحدث فيها عمليات كيميائية وطبيعية ينعكس تأثيرها من باطن الأرض إلى قشرتها الخارجية فى صور متعددة من البنيات الجيولوجية والحركات الأرضية . كما أن العمليات التى تجرى فى باطن الأرض هى المسببة لحدوث الظواهر الأرضية الطبيعية مثل الزلازل والبراكين والمجال المغنطيسى للأرض .

طبقـات الأرض **Earth's layers**

عدد مـن الطبقات المتباينة فى طبيعتها ومادتها وبنيتها ، تبدأ من سطح الأرض إلـى مركزها . وهذه الطبقات هى قشرة الأرض **crust** – وشاح الأرض **mantle** – لب الأرض **core**.

F

fumarole **داخنة (فوارة)**

فوهة فى قشرة الأرض تنبعث منها الأدخنة والغازات إلى الهواء ، وتكثر الداخنات فى مناطق النشاط البركانى. وتتكون الداخنات (الفوارات) عندما يختلط بخار الماء المتصاعد عبر الشقوق والفواصل مع أنواع أخرى من الغازات مكونا الأبخرة البركانية.

والاسم مأخوذ من الكلمة اللاتينية **fumas** وتعنى دخان **smoke** ، نظرا لأن الأبخرة والغازات المنطلقة من الفوارة تبدو كالدخان المنطلق فى الهواء. والفوارات أكثر سخونة من الينابيع الحارة والنافورات الحارة وينطلق منها بخار الماء والغازات فقط.

G

geopressured **منضغطات أرضية**

خزانات للماء الساخن والغاز الطبيعى تخزن فى الصخور الرسوبية تحت ضغوط هائلة.

geotherm **حرارة الأرض**

ظاهرة طبيعية مرتبطة بطبيعة الحرارة الأرضية ونشأتها ومعدلها والأحوال الحرارية لطبقات الأرض المختلفة. والكلمة تتكون من مقطعين ، الأول منها هو " **Geo** " وهى كلمة إغريقية تعنى الأرض " **Earth** " والثانى هو " **therm** " ويعنى حرارة " **heat** " .

geothermal energy **طاقة الأرض الحرارية**

طاقة الحرارة المخزونة داخل الأرض التى تنشأ عنها ظواهر جيولوجية فى مناطق مختلفة من الكرة الأرضية. وطاقة الأرض الحرارية هى مصطلح يستخدم عادة للدلالة على الجزء من حرارة الأرض الذى تستفيد منه البشرية وتستثمره ، وهى طاقة هائلة .

خزان أرضى حرارى geothermal reservoir

مياه أرضية ساخنة تتكون عندما تكون الطبقات المسامية الحاملة للمياه الجوفية قريبة من مصدر حرارى قد يكون مصدره الصهارة أو الصخور المحيطة . ويكتسب الماء فى هذه الطبقات حرارته من الصهارة أو الصخور المحيطية بواسطة الانتقال وداخل هذه الطبقات بفعل تيارات الحمل .

نافورة حارة geyser

ماء ساخن أو بخار يندفع من فتحة فى سطح الأرض على شكل نافورة تصل إلى ارتفاع كبير، ويتكرر انفجارها على فترات منتظمة وبصورة دورية متكررة .

وتوجد النافورات الحارة فى أماكن قليلة على سطح الكرة الأرضية . والنافورات الحارة نوع خاص من الينابيع الحارة **hot springs** ، تتطلب ظروف بنائية خاصة تختلف عن ظروف تكوين الينابيع الحارة .

جندوانالاند Gondwanaland

الجزء الجنوبى من القارة العملاقة بانجيا **Pangea** (كل الأرض أو أم القارات) التى يعتقد أنها كانت الكتلة اليابسة الوحيدة عند نشأة الأرض ، وتشققت وانجرفت خلال الحقب الأولى من تطور الأرض إلى كتلتين : جزء شمالى وجزء جنوبى . ونشأ عن تشقق وانجراف الجزء الجنوبى خلال الحقب الجيولوجية التالية تكون قارات أفريقيا وأمريكا الجنوبية وأستراليا وجنوب آسيا والقارة القطبية الجنوبية (انتراكتيكا).

جرانيت granite

صخر نارى حمضى جوفى غليظ التحبب ، يختلف لونه من الوردى إلى الرمادى الضارب إلى الحمرة. وهو صخر صلب قوى الاحتمال ، تصل نسبة السيليكا فيه نحو ٧٠٪ .

granitic magma **صهارة جرانيتية**

صهارة تتكون نتيجة انصهار الصخور التى تحتوى على نسبة سيليكا أعلى من الصهارة البازلتية **basaltic magma** ، تنصهر عند درجات حرارة أقل من درجات الحرارة التى تنصهر عندها الصخور المكونة للصهارة البازلتية. ولزوجة صهارة الجرانيت تكون عالية، لذا ترتفع من باطن الأرض نحو سطحها ببطء ولمسافات قليلة، تحت تأثير لزوجتها العالية ، وتتصلب فى القشرة الأرضية عند أعماق تتراوح بين ٥ – ٢٠ كيلومتر تحت تأثير البرودة التى تصادفها ، ويتكون عنها صخور صلبة .

H

heat exchanger **مستبدل حرارى**

أداة تستخدم فى رفع درجة الغازات أو السوائل أو خفضها وذلك بسريانها حول الأسطح الخارجية لأنابيب خاصة تجرى بداخلها سوائل أو غازات أخرى ساخنة أو باردة. وتستخدم هذه الأداة فى محطات طاقة الأرض الحرارية للحصول على بخار جاف من سائل له درجة غليان أقل من درجة غليان الماء .

hot dry rocks **صخور جافة ساخنة**

تقنية حديثة تمكن من استحداث خزان جوفى اصطناعى وحقن الماء فيه لتكوين خزان حرارة أرضى. يتم من خلال هذه التقنية دفع الماء البارد تحت ضغط عال من خلال آبار خاصة إلى مناطق الصخور العميقة الساخنة . ويؤدى هذا الحقن إلى حدوث تمزقات صخرية تنفذ المياة إليها وتكتسب الحرارة من الصخور المحيطة ، فيتكون خزان مائى جوفى اصطناعى يعمل كالخزان الحرارى الطبيعى.

بقعة ساخنة **hot spot**

منطقة نشاط بركانى على سطح الأرض تعلو زهور وشاح الأرض مباشرة. وزهور وشاح الأرض هى كتل ساخنة لدنة تتكون عند أعماق مختلفة فى وشاح الأرض وترتفع لأعلى حتى طبقة الليثوسفير. وتوجد البقع الساخنة عادة داخل الألواح التكتونية.

حمة (ينبوع حار) **hot spring**

فتحة فى الأرض تنبعث منها مياه أرضية جوفية فى درجة حرارة مرتفعة حاملة معها فى كثير من الأحيان ، أملاح معدنية مختلفة. وتنتج الينابيع الحارة عندما تنتقل الحرارة من طبقات الأرض الساخنة أو من غرف الصهارة إلى الطبقات المسامية الحاملة للمياة الجوفية. يؤدى ذلك إلى سخونة المياة فتقل كثافتها وترتفع عبر الفواصل والشقوق إلى سطح الأرض مكونة الينابيع الحارة. والينابيع الحارة علامة على وجود نشاط بركانى تحت سطح الأرض.

L

لوراسيا **Laurasia**

الجزء الشمالى من القارة العملاقة بانجيا **Pangea** (أم القارات) التى يعتقد أنها كانت الكتلة اليابسة الوحيدة عند نشأة الأرض ، وتشققت وانجرفت خلال الحقب الأولى من تطور الأرض إلى كتلتين : جزء شمالى وجزء جنوبى . ونشأ عن تشقق وانجراف الجزء الشمالى خلال الحقب الجيولوجية التالية تكون قارات أوروبا وآسيا وأمريكا الشمالية .

لابة **Lava**

الصخور المنصهرة التى تخرج من باطن الأرض وتنساب على سطحها على هيئة طفوح بركانية حارة . وانسياب اللابة على سطح الأرض شائع الحدوث عند حدود كل من الألواح التكتونية المتقاربة والمتباعدة .

lithosphere ليثوسفير (طبقات الصخور الصلبة)

الطبقة العليا من وشاح الأرض وقشرتها. وهى طبقة باردة نسبيا بالمقارنة بطبقة الأثينوسفير أسفلها وصخورها صلبة وقوية. وتطفو طبقة الليثوسفير الصلبة على طبقة الأثينوسفير الضعيفة المرنة. ويتغير سمك طبقة الليثوسفير من ٧٥ كيلومتر أسفل قعور المحيطات إلى ١٢٥ كيلومتر أسفل القارات .

M

magma صهارة (ماجما)

مواد الصخور المنصهرة فى باطن الأرض التى تتكون عنها الصخور النارية عندما تبرد .

mantle وشـاح

النطاق السميك الكثيف من الغلاف الصخرى للأرض الذى يقع أسفل القشرة الأرضية الرقيقة نسبيا ويمتد إلى عمق كبير تحت سطح الأرض حتى يلامس لب الأرض . ويصل سمك وشاح الأرض إلى حوالى ٢٩٠٠ كيلومتر ، ويشكل ٨٠٪ من حجم الأرض. والتركيب الكيميائى لوشاح الأرض متجانس تقريبا ، وفيه تزداد درجة الحرارة والضغط بزيادة العمق .

(انظر بنية وشاح الأرض **structure of the mantle**) .

mantle convection تيارات الحمل فى وشاح الأرض

تساعد الحرارة العالية التى تعمل فى وشاح الأرض العميق (السفلى) على تمزيق صخوره الصلبة ، الأمر الذى يؤدى إلى مرونتها وانسيابها التدريجى ببطء وتمددها وارتفاعها لأعلى تجاه وشاح الأرض العلوى وقشرتها ونقل كميات هائلة من الحرارة فى اتجاه سطح الأرض . وتسمى هذه العملية "تيارات الحمل فى وشاح الأرض".

حيود أواسط المحيطات mid - oceanic - ridges

يتكون حيود أواسط المحيطات عندما ينتشر الليثوسفير الحديث فى قاع المحيط خلال حدود الألواح التكتونية المتباعدة ليصل إلى ارتفاعات كبيرة مكونا سلاسل جبال تحت مياه المحيطات. وقد يرتفع حيود أواسط المحيطات فى بعض المناطق القليلة إلى أعلى من سطح البحر مكونا عددا من الجزر، أما فى أغلب الأحيان يكون ارتفاع حيود المحيطات من ٢-٣ كيلومتر فوق قعر المحيط. ويتكون عن حيود أواسط المحيطات أطول سلسلة جبال أرضية.

موفيتى (المنافذ الكربونية) moffette

الفوارات **fumaroles** التى ينطلق منها مع بخار الماء غاز ثانى أكسيد الكربون. وهى أقل شيوعا.

P

بانجيا (أم القارات) Pangea

قارة أسطورية عملاقة جمعت كل القارات وتكونت من كتلة يابسة واحدة . وقد افترض العالم الألمانى فاجنر، فى نظريته عن الانجراف القارى، وجودها وتفلقها وانجراف أجزائها بعيداً عن بعضها البعض وفى اتجاهات مختلفة، واستمرار تباعدها خلال العصور الجيولوجية المختلفة حتى تكونت القارات الحالية .

انصهار جزئى partial melting

ظاهرة تحدث عند انصهار الصخور المكونة من خليط من المعادن، حيث أن لكل معدن درجة انصهار تختلف عن درجة انصهار المعدن الآخر. وفى بداية التماثل الانصهارى، تنصهر المعادن ذات درجة الانصهار المنخفضة بينما تظل المعادن الأخرى الأعلى فى درجة انصهارها فى الحالة الصلبة، وتسمى هذه الظاهرة بالانصهار الجزئى. وعندما تكون درجة الحرارة أعلى من درجة انصهار كل المعادن المكونة للصخر ، فإن الصخر ينصهر بأكمله ، ويسمى ذلك بالانصهار الكلى .

بريدوتيت **peridotite**

صخر نارى قاعدى غليظ التحبب، يتكون معظمه من بلورات كبيرة من معدن الأوليفين. ويحتوى الصخر على نسبة حوالى ٤٠٪ سيليكا.

حدود الألواح التكتونية **plate boundaries**

المنطقة التى يحدث عندها حركة الألواح التكتونية بالنسبة لبعضها البعض وهى صدوع وكسور فى طبقة الليثوسفير والقشرة الأرضية. وهى ليست خطا فاصلا محدد المعالم، بل إنها يمكن أن تشكل نطاقات عريضة الامتداد كما فى بعض المناطق من الكرة الأرضية. وحدود الألواح التكتونية من الأماكن النشيطة تكتونيا، حيث يحدث الغالبية العظمى من النشاط الزلزالى والبركانى على حدود ونطاقات الألواح التكتونية.

تكتونية الألـواح **plate tectonics**

نظرية ظهرت فى السبعينات من القرن العشرين لتدعم نظرية الانجراف القارى. وتشير هذه النظرية إلى طفو طبقة الليثوسفير فوق طبقة الأثينوسفير وتداخل حدودهما فيما بينهما بصفة مستمرة. وأن طبقة الليثوسفير التى تشمل الوشاح العلوى وطبقة القشرة الأرضية التى تعلوها مقسمة إلى سبعة ألواح أرضية رئيسية (عملاقة) وعدد آخر من الألواح الأرضية الصغيرة (الثانوية)، وتسمى هذه الأقسام بالألواح التكتونية . ويتكون اللوح من صخور صلبة وقوية تطفو على طبقة الأثينوسفير الحارة المرنة، ويمكن للوح الأرضى الواحد أن يضم قشرة محيطية وقشرة قارية فى آن واحد. ويتحرك كل لوح من الألواح الأرضية نسبيا مع الألواح الأخرى المجاورة. وتعتمد حركة الألواح الأرضية على نوع واتجاه الصدوع المحددة لها وعلى العوامل فى باطن الأرض المسببة لها. وحدود الألواح التكتونية من الأماكن النشيطة التى يحدث على امتدادها زلازل وبراكين.

بلـوتـون **pluton**

كتلة من الصخر تصلبت عن الصهارة الجرانيتية فى باطن الأرض . وقد يصل قطر هذه الكتلة فى بعض الأحيان إلى عشرات الكيلومترات.

صخر بلوتونى (جوفى) **plutonic rock**

صخر جوفى نارى يندفع فى صخور أقدم منه وهو فى حالة منصهرة ويتصلب فى كتل كبيرة وعلى أشكال مختلفة عند أعماق مختلفة من القشرة الأرضية.

R

متجدد **renewable**

خاصية لمصدر الطاقة تعتمد على معدل تجدد مصدر الطاقة. والعنصر الرئيسى فى تصنيف طاقة الأرض الحرارية كمصدر طاقة متجدد هو معدل تغذية الخزان الجوفى وحركة المياه الساخنة فى وقت استغلال المصدر.

حلقة النار **ring of fire**

المنطقة التى تطل على المحيط الهادى (الباسيفى) . ويقع على جانبى هذه المنطقة عدد من الألواح التكتونية المشكلة للقشرة الأرضية والليثوسفير منها اللوح الأوراسى واللوح الأسترالى ولوح أمريكا الشمالية ولوح أمريكا الجنوبية. وتضم منطقة حلقة النار جزر اليابان وجزر الفلبين وجزر إندونيسيا وجزر نيوزيلندا والسواحل الغربية لكل من أمريكا الشمالية وأمريكا الجنوبية... إلخ.

S

انتشار أرضية البحر **sea – floor spreading**

ظاهرة تنتج عن استمرار ارتفاع الصهارة إلى أرضية المحيط فى مناطق تباعد لوحين محيطين، وانتشار الصهارة بعيدا عن حيود أواسط المحيطات نظرا لحرارتها العالية وكثافتها المنخفضة، وبرودة الأجزاء العلوية منها واكتسابها صلابة وقوة، وزيادتها التدريجية بسمك الليثوسفير، وتكوينها ليثوسفيرا جديدا.

جـدة موازية **sill**

جسم صخرى نارى متدخل لوحى الشكل مواز لطبقات الصخور التى يخترقها، يتكون عن كتل الصهارة عندما تدفع الصخور المحيطة بها وتنساب بين طبقاتها فى اتجاه أفقى .

سلفاتاروس (مكبرتـات) **solfataras**

اسم يطلق على الفوارات **fumaroles** عندما ينطلق منها بخار الماء مشبعا بمركبات الكبريت. وهذا الاسم مأخوذ عن الكلمة الايطالية "**salfo**" التى تعنى كبريت "**sulfur**" . وهذا النوع من الفوارات (الداخنات) هو الأكثر شيوعا.

مستدام **sustainable**

خاصية لمصدر الطاقة تعتمد على كيفية استغلال هذا المصدر واستمراريته. وعناصر تصنيف طاقة الأرض الحرارية كمصدر مستدام للطاقة تعتمد على كميتها الأولية ومعدل تولدها ومعدل استهلاكها .

T

نظرية انجراف القارات **theory of continental drift**

(انظر انجراف القارات **continental drift**) .

نظرية تكتونية الألواح **theory of plate tectonics**

(انظر تكتونية الألواح **plate tectonics**) .

نظرية انتشار قاع البحر **theory of sea – floor spreading**

(انظر انتشار قاع البحر **sea – floor spreading**) .

صدع محول **transform fault**

صدع يتحرك أحد جوانبه أفقيا بالنسة للجانب الآخر أو الذى يتحرك جانباه حركة أفقية ، ولا توجد هناك أية حركة رأسية . وحركة الصدع قد تقتصر إلى أقل من السنتيمتر أو تطول إلى آلاف الأمتار .

حدود الألواح المحولة **transform plate boundaries**

الحدود التى تنشأ عندما ينزلق لوحان تكتونيان فى اتجاه أفقى كل منهم بالنسبة للآخر ، أى يتحركان فى اتجاهين متضادين . ويمكن أن يحدث هذا النوع من حدود الألواح التكتونية فى مناطق القارات أو المحيطات. ويحدث عن الألواح المحولة نشاط زلزالى يكون قويا فى بعض الأحيان .

أنواع حدود الألواح التكتونية **types of plate boundaries**

هى المناطق التى تحدث عندها حركة الألواح بعضها بالنسبة لبعض . وتشكل هذه الحدود صدوع وكسور فى طبقة الليثوسفير والقشرة الأرضية . وتعتمد حركة الألواح التكتونية على نوع الصدوع المحددة لها واتجاهها وعلى العوامل فى باطن الأرض المسببة لها .

وحدود الألواح التكتونية المعروفة ثلاثة أنواع هى : حدود الألواح المتقاربة **convergent plate boundaries** وحدود الألواح المتباعدة **divergent plate boundaries** وحدود الألواح المحولة **transform plate boundaries** .



نشاط بركانى **volcanic activity**

خروج مواد منصهرة وغازات فى درجة حرارة عالية من باطن الأرض. ويكون خروج المواد المنصهرة مصحوبا إما بانفجارات عنيفة أو انسياب هادئ. وتعتبر الطفوح البركانية أحد الظواهر العنيفة الممثلة للنشاط البركانى.

ويبدأ النشاط البركانى من باطن الأرض عندما تعمل الحرارة العالية فى وشاح الأرض وعوامل أخرى مساعدة على انصهار الصخور وتكون الصهارة ، حيث تنصهر حجوم كبيرة من الصخور. وتندفع الصهارة إلى أعلى تجاه المناطق الضعيفة من القشرة الأرضية نتيجة تمدد الصهارة وعدم استقرارها بسبب الغازات المصاحبة لها.

بركـــان **volcano**

البركان شق أو فتحة فى صخور الأرض تخرج منها المواد البركانية (اللابة المنصهرة والغازات والأبخرة والصخور المفتتة والرماد ...إلخ)، كما يطلق على شكل الأرض المتكون نتيجة لتراكم المواد البركانية حول قصبة البركان.

قائمة المراجع المختارة

أولاً : المراجع العربية

- حافظ شمس الدين عبد الوهاب – (٢٠٠٣) – معجم مصطلحات فى علم المعادن، جامعة الدول العربية .

- حافظ شمس الدين عبد الوهاب – (٢٠٠٦) – الجيولوجيا الفيزيقية والتاريخية، دار الفكر العربى – القاهرة.

- على تعيلب – (٢٠٠٢) – الزلازل، سلسلة الكتيبات والمطبوعات العلمية – المعهد القومى للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية – حلوان – القاهرة.

- على تعيلب – (٢٠٠٣) – البراكين، سلسلة الكتيبات والمطبوعات العلمية – المعهد القومى للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية – حلوان – القاهرة.

- على تعيلب – (٢٠٠٦) – الزلازل والبراكين فى المنطقة العربية (سبل التخفيف من آثارهما)، سلسلة الكتيبات والمطبوعات العلمية – المعهد القومى للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية – حلوان – القاهرة.

- مجمع اللغة العربية – (١٩٨٢) معجم الجيولوجيا، الهيئة العامة للمطابع الأميرية – القاهرة.

ثانياً : المراجع الأجنبية

- **Frankal. Ch. ,(1996),** Volcanoes of the Solar System. Cambridge Univ. Press.

- **Grandell, D. R. B. Booth; K. Kazumadimata; D. Shimozaui; G.P.L. Walker and D.Westercamp, (1984),** Source – Book for Volcanic Hazards Zonation. UNESCO Publiction, Paris.

- **Karner, G.D.; B.Taylor; N.M. Driscoll and D.L. Kohlstedt (Editors), (2004),** Rheology and Deformation of the Lithosphere at Continental Margins. Columbia Univ. Press, New York.

- **Moores, E. M. and Twiss, R.J. (1995),** Tectonics. W.H. Freeman and Company.USA.

- **Morgan, P. ,(1984),** The Thermal Structure and the Thermal Evolution of the Continental Lithosphere. Phys. Chem. Earth, V.15.

- **Smith, A. G, and R.A.Livermore ,(1991),** Pangea in Permian and Jurassic Time. Tectonophysics, V.187.

- **Stacey, F.D. ,(1969),** Physics of the Earth. John Wiley & Sons Inc.

- **Stein, S. and J. T. Freymueller (Editors) ,(2002),** Plate Boundary Zone. Geodynamics Series, American Geophysical. Union (AGU), V.30.

- **Tarzieff, H. ,(1962),** Volcanoes. London, UK.

- **Thompson, G.R. and J.Turk,(1999),** Earth Science and the Environment. Harcourt and Race College Publishing. Orlaudt - Florida, USA.

- **Yehoda, B.Z. (Editor) ,(2003),** Seismic Motion, Lithosphere Structure, Earthquake and Volcanic Sources. Birkhaeuser Varlag, Berlin.

المحتويات

الموضوع | الصفحة

الفصل الثانى

الفصل الثالث

الفصل الرابع

فهرس Index

مصطلحات طاقة الأرض الحرارية (باللغة الإنجليزية)

مرتبة ألفبائيًا

hot dry rocks	صخور جافة ساخنة	٩٤، ١٠٨
hot spot	بقعة ساخنة	١٠٨
hot spring	ينبوع حار (حمة)	٥٥، ١٠٧، ١٠٩
-I –		
interior	باطن – داخل	١٩، ٢١، ١٠٥
isostasy	توازن القشرة الأرضية (أيزوستاسى)	٤٣
isostatic	عملية اتزان قشرة الأرض	٤٣
isostatice adjustment	ضبط اتزان القشرة الأرضية	٤٣
-L –		
Laurasia	لوراسيا	٢٣، ١٠٩
lava	لابة	٤٠، ١٠٩
layer	طبقة	١٩، ١٠٥
lithosphere	الغلاف الصخرى للأرض (ليثو سفير)	١٠٠
-M –		
magma	صهارة	٣١، ٤٥، ٥١، ٩٥، ١٠٢، ١٠٨، ١١٠
mantle	وشاح	١٨، ٣٦، ١٠٢، ١٠٤، ١١٠
mantle convection	تيارات حمل وشاح الأرض	١١١
mid-oceanic	أواسط المحيطات	٣١
mid-oceanic-ridges	حيود أواسط المحيطات	٣١، ١١١
moffette	منافذ كربونية (موفيتى)	٦٢، ١١١
-P –		
Pangea	بانجيا (أم القارات)	٢٢، ١٠٧، ١٠٩، ١١١
partial	جزئى	٥١، ١١١
partial melting	انصهار جزئى	٥١، ١١١

theory of continental drift	نظرية انجراف القارات	٢١، ١١٤
theory of plate tectonics	نظرية تكتونية الألواح	٢٥، ١١٤
transform	محول	٢٩، ١١٥
transform fault	صدع محول	١١٥
transform plate boundaries	حدود الألواح المحولة	١١٥
-V –		
volcanic	بركانى	٤٥، ١١٥
volcanic activity	نشاط بركانى	٤٥، ١١٥
volcano	بركان	١١٦

فهرس Index

مصطلحات طاقة الأرض الحرارية (باللغة العربية) مرتبة ألفبائيًا

لوح	plate	٢٥، ٣٠، ٣٢، ٣٤، ٣٥، ٣٩، ١٠٣، ١٠٤، ١١٢، ١١٤، ١١٥
لوراسيا	Laurasia	٢٣، ١٠٩
ليثوسفير	lithosphere	٢٠، ١٠١، ١١٠
(م)		
متباعد	divergent	٢٩، ٣٠، ١٠٤، ١١٥
متجدد	renewable	٧٣، ١١٣
متقارب	convergent	٢٩، ٣٢، ١٠٣، ١١٥
محول	transform	٢٩، ١١٥
مستبدل	exchanger	٨٢، ١٠٨
مستبدل حراری	heat exchanger	٨٢، ١٠٨
مستمر (مستدام)	sustainable	٧٣، ١١٤
مكبرتات	solfataras	٦٢، ١١٤
مكمن	reservoir	٧٠، ١٠٧
مكمن أرضي حراري	geothermal reservoir	٧٠، ١٠٧
منافذ كريوتية (موفيتى)	moffette	٦٢، ١١١
منخسف	rift	٣١، ١٠٣
منضغطات أرضية	geopressured	٩٦، ١٠٦
(ن)		
نافورة حارة	geyser	٥٦، ١٠٧
نشاط بركانى	volcanic activity	٤٤، ١١٥
نشأة الأرض	birth of the earth	١٧
نظرية انحراف القارات	theory of continental drift	٢١، ١١٤

نظرية تكتونية الألواح	theory of plate tectonics	٢٥، ١١٤
(هـ)		
هبوط	subduction	٣٢
(و)		
وشاح	mantle	١٩، ٣٦، ١٠٣، ١٠٥، ١١٠
(ى)		
ينبوع	spring	٥٤، ١٠٧، ١٠٩
ينبوع	hot spring	٥٤، ١٠٧، ١٠٩

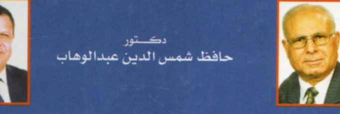
رقم الإيداع	٣٢٥٧/ ٢٠١٣
I.S.B.N	978-977-10-2849-9

دار الفكر العربي
شركة مساهمة مصرية
للطباعة والنشر والتوزيع



دكتور
علي عبد العظيم تعيلب

- أستاذ الجيوفيزيقا بالمعهد القومي للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية ورئيس المعهد الأسبق.
- رئيس اللجنة القومية للطبيعة الأرضية ومقاييس الأرض.
- حائز على جائزة الدولة التقديرية فى العلوم الأساسية عام ٢٠٠٩م.
- حائز على جائزة الدولة التشجيعية فى العلوم الجيولوجية عام ١٩٨٨م.
- حاصل على نوط الامتياز من الطبقة الأولى عام ١٩٩٥م.
- منشئ دراسات تحركات القشرة الأرضية بالمعهد القومي للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية.



دكتور
حافظ شمس الدين عبدالوهاب

- أستاذ الجيولوجيا بكلية العلوم جامعة عين شمس.
- عضو المجمع العلمي المصري.
- عضو مجمع اللغة العربية.
- خبير السياسات الثقافية والتنوع الثقافي باليونسكو (باريس).
- رئيس لجنة التراث الثقافي باللجنة المصرية لليونسكو.
- مقرر لجنة الثقافة العلمية بالمجلس الأعلى للثقافة.
- زميل جامعة بنسلفانيا بأمريكا.
- عضو اتحاد كتاب مصر.

هذا الكتاب

طاقة الأرض الحرارية هى طاقة مختزنة داخل الأرض؛ تمثل قدراً هائلاً من الطاقة، تفوق قدرتها مصادر الطاقة التقليدية بألوف المرات. ويعرض هذا الكتاب بلغة عربية ميسرة لطاقة الأرض الحرارية المختزنة فى داخلها من حيث النشأة، والعوامل المساعدة فى تنميتها، وأماكن توزيعها فى القارات الخمس، ومدى الإفادة من هذه الطاقة غير الملوثة للبيئة، والتي لا يتطلب استغلالها الكثير من الجهد والنفقات.

ولكي تكتمل الصورة، زود الكتاب بثبت للمصطلحات بالعـ[illegible] والإنجليزية التى قد تفيد القارئ فى الاطلاع على المزيد من الـ[illegible] طاقة الأرض الحرارية.




I.S.B.N. 978-977-10-2849-9
9771081592
تطلب جميع منشوراتنا من وكيلنا الوحيد بالكويت والجزائر
دار الكتاب الحديث